

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroniky**

**Návrh a dimenzování akumulční jednotky pro  
aplikace v distribučních sítích**

**Design and Dimensioning of Accumulation Unit for  
Distribution Network Applications**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Turoň**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612T015 Elektronika  
Téma: **Návrh a dimenzování akumulční jednotky pro aplikace v distribučních sítích**  
**Design and Dimensioning of Accumulation Unit for Distribution Network Applications**

### Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte princip geograficky rozložené akumulace energie v distribučních sítích, nalezněte vhodné aplikace pro využití tohoto principu akumulace a vyhodnoťte jejich místní dopady.
2. Navrhněte vhodnou obvodovou strukturu mobilní akumulční jednotky pro spolupráci s distribuční sítí a proveďte dimenzování jejích hlavních částí.
3. Proveďte projektové zpracování hlavních obvodů a v rozsahu dle pokynů vedoucího práce proveďte konstrukční návrh mobilní akumulční jednotky.

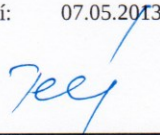
### Seznam doporučené odborné literatury:

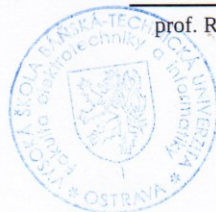
Vondrášek, F.: Výkonová elektronika-měniče s vlastní komutací a bez komutace, svazek 3, Plzeň 2003, ISBN 80-7082-980-X  
Chlebiš, P.: Výkonová elektronika I, VŠB-TU Ostrava 2003  
Další literatura dle pokynů vedoucího diplomové práce

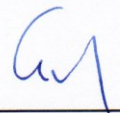
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.**

Datum zadání: 16.11.2012  
Datum odevzdání: 07.05.2013

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry

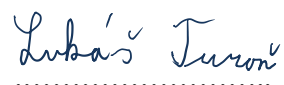


  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě, 2. května 2013

Handwritten signature of Lukáš Turoň in blue ink, with a dotted line underneath.

Bc. Lukáš Turoň

## **Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Petru Chlebišovi, CSc. za vedení při diplomové práci, za cenné rady a doporučení při jejím řešení. Také bych rád poděkoval rodině a známým, kteří mně jakýmkoliv způsobem nasměřovali při tvorbě této diplomové práce.

## **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a dimenzováním akumulční jednotky pro distribuční síť. V teoretické části byla podrobněji rozvedena čtyři podtémata týkající se distribučních sítí, konceptem smart grid z pohledu akumulace energie, možnosti a prostředky k akumulaci elektrické energie a v posledním bodě společnostmi, které tyto zařízení pro uchování energie vyrábějí. V návrhové části je řešený koncept střídače, který umožňuje obousměrný tok energie. Projektová část se skládá z projekčního schématu znázorňujícího vnitřní elektrické rozložení všech zařízení a jisticích prvku v kontejneru.

**Klíčová slova:** Akumulační jednotka, akumulátor, střídač, distribuční síť

## **Abstract:**

This diploma thesis deals with designing and dimensioning of an accumulation unit for distribution network. The theoretical part focuses on four topics: connected with the distribution network, the smart grid conception (from the perspective of energy accumulation), the possibilities and ways of the electric energy accumulation, at least with the companies producing this energy-accumulation units. The designing part involves the conception of a converter, that makes the two-way flow energy possible. In the projecting part there is projecting schema illustrating an internal electrical decomposition of the whole equipment and protection elements contained in container.

**Key words:** Accumulation unit, accumulator, inverter, distribution network

## Seznam použitých symbolů a zkratek:

### Značky

A	- ampér (jednotka proudu)
AC	- střídavé napětí
Ah	- ampér hodina (jednotka kapacity baterie)
B <sub>n</sub>	- soudobost
C <sub>d</sub>	- filtrační kondenzátor
Cosφ	- účinník
°C	- stupeň celsia (jednotka teploty)
DC	- stejnosměrné napětí v meziobvodu
DCP	- kladná svorka
DDZ	- denní diagram zatížení
DOD	- hloubka vybití baterie
DS	- distribuční soustava
DTS	- distribuční transformátor
EDLC	- kondenzátor pracující na principu dvouvrstvý
E <sub>z</sub>	- energie potřebná pro pokrytí špičkového odběru z DDZ
FVE	- fotovoltaické elektrárny
GND	- uzemnění
GND	- uzemnění analogového vstupu
HDO	- hromadné dálkové ovládání
I <sub>jsek</sub>	- jmenovitý sekundární proud transformátoru
I <sub>n,klim</sub>	- proud potřebný pro klimatizační jednotku
I <sub>p</sub>	- proud
I <sub>s</sub>	- výstupní proud měniče
kWh	- kilowatthodina (jednotka množství vyrobené nebo spotřebované energie)
L	- indukčnost
L1,L2,L3	- označení fází
mH	- milihenry (jednotka indukčnosti)
MWh	- megawat hodina
MW	- megawatt (jednotka elektrického výkonu)
MDZ	- měsíční diagram zatížení
NN	- nízké napětí
Pb	- chemický prvek (olovo)

$P_b$	- soudobý příkon
$P_i$	- instalovaný výkon
$P_p$	- celkový zatěžovací výkon
$P_{OUT}$	- výstupní výkon střídače
PS	- přenosová soustava
PVE	- přečerpávací vodní elektrárny
RDZ	- roční diagram zatížení
$S_n$	- Jmenovitý výkon transformátoru
T	- čas
TDZ	- týdenní diagram zatížení
$U_{prim}$	- primární napětí na transformátoru
$U_{sek}$	- sekundární napětí na transformátoru
$U_k\%$	- poměrné napětí na krátko
$\Delta u$	- úbytek napětí
VN	- vysoké napětí
VVN.	- velmi vysoké napětí
XL	- indukční reaktance
$\Omega$	- ohm (jednotka odporu)
$\beta$	- součinitel náročností
$\gamma$	- koeficient využití transformátoru
$\gamma_s$	- skutečný součinitel využití transformátoru

## Obsah:

<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Distribuční síť .....</b>	<b>11</b>
2.1. Topologie sítí .....	12
2.2. Geografické znázornění instalovaných zdrojů v ČR .....	13
2.3. Diagram zatížení (DDZ) .....	14
2.4. Úvod do Smar Grids sítí .....	16
<b>3. Akumulace elektrické energie .....</b>	<b>17</b>
3.1. Superkondenzátory (EDLC) .....	19
3.2. Elektrochemické akumulátory.....	20
3.2.1. Pb akumulátory .....	21
3.2.2. Akumulátory s vázaným elektrolytem – AGM .....	22
3.2.3. Gelové akumulátory .....	22
3.2.4. Základní vlastnosti Pb, AGM a gelových akumulátorů .....	23
3.2.5. Li-ion akumulátor .....	24
3.2.6. LifePo4 akumulátor .....	24
3.2.7. NaS akumulátor .....	25
3.2.8. Kritéria pro výběr akumulátoru .....	26
3.3. Akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách .....	28
3.4. Firmy zabývající se akumulací elektrické energie .....	28
3.4.1. ABB .....	28
3.4.2. Siemens .....	29
<b>4. Návrh akumulační jednotky .....</b>	<b>30</b>
4.1. Výpočet parametrů pro stanovení DDZ .....	30
4.1.1. Parametry DTS .....	30
4.1.2. Výpočet parametrů rodinného domku.....	30
4.1.3. Graf DDZ pro obec Hrádek .....	32
4.1.4. Výpočet kapacity baterie .....	33
4.2. Blokové schéma akumulační jednotky .....	35
4.3. Výpočet parametrů sítě .....	35
4.4. Výkonová část měniče .....	37
4.4.1. Elektrické schéma .....	37
4.4.2. Popis funkce pulzního usměrňovače .....	37
4.4.3. Technické parametry měniče .....	39
4.4.4. Popis konstrukčního provedení.....	40
4.4.5. Popis svorkovnice měniče .....	40
4.5. Dimenzování jištění výkonové části měniče.....	42



4.5.1.	<i>Volba jištění měniče ze stejnosměrné strany.....</i>	<i>42</i>
4.5.2.	<i>Volba jištění měniče ze střídavé strany.....</i>	<i>43</i>
4.6.	<i>Přípojková skříň .....</i>	<i>44</i>
4.7.	<i>Elektroměrová skříň.....</i>	<i>45</i>
4.8.	<i>Volba chladicího systému.....</i>	<i>45</i>
4.9.	<i>Klimatizační jednotka.....</i>	<i>46</i>
4.10.	<i>Spínaný napájecí zdroj.....</i>	<i>46</i>
4.11.	<i>Elektrický rozvaděč.....</i>	<i>47</i>
4.12.	<i>EMC filtr .....</i>	<i>47</i>
4.13.	<i>Snímače napětí a proudu.....</i>	<i>48</i>
<b>5.</b>	<b>Projektové zpracování akumulární jednotky .....</b>	<b>49</b>
5.1.	<i>Akumulární kontejner.....</i>	<i>49</i>
5.2.	<i>Elektrické schéma měniče.....</i>	<i>49</i>
5.3.	<i>Elektrické schéma vnitřní části kontejneru.....</i>	<i>50</i>
<b>6.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>51</b>
	<i>Použitá literatura .....</i>	<i>52</i>
	<i>Seznam příloh.....</i>	<i>54</i>

## 1. Úvod

Akumulace elektrické energie je v současné době velmi široce diskutovaným tématem. Její využití je od přečerpávacích elektráren k pokrytí špičkových odběru energie, až po malé akumulární jednotky, které slouží např. v horských oblastech pro napájení chat nebo hotelu. Další uplatnění akumulace přináší nasazení v chytrých sítích. Technologie pro akumulaci se neustále vyvíjí, či už v podobě akumulátoru nebo výkonových součástek, které jsou základem měničů.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem akumulární jednotky, která se bude nacházet v přenosném kontejneru. Měnič obsahuje moderní výkonové součástky a také moderní baterie typu LifePo4. Je projektována pro nasazení v podhorské obci – Hrádek, kde bude nainstalována k distribučnímu transformátoru. Cílem je pokryt špičkový odběr 25 rodinných domů.

Výstupem této práce je projektové zpracování – schéma a dimenzování vnitřní části akumulární jednotky.

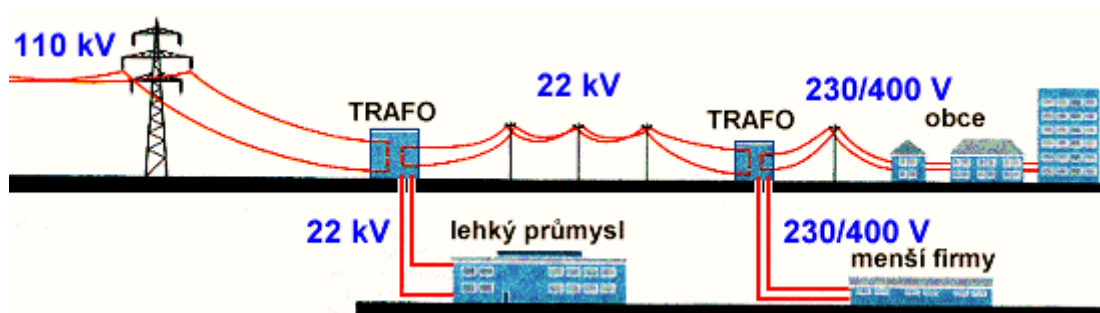
## 2. Distribuční síť

Elektrická přenosová soustava je systém zařízení, jejímž úkolem je zajištění přenosu elektrické energie z elektrárny, nebo ze zdrojů do ní zapojených k spotřebiteli. Tato energie je tvořena v elektrárnách a následně pokračuje do velkých rozvodů, ze kterých je rozváděna na nižší napětové hladiny až k uživateli. Tento způsob přenosu z velkých rozvodů k uživateli je nazýván distribuce elektrické energie. Zařízením, které umožňují tento přenos, říkáme distribuční soustava. [5]

Další velmi důležitou funkci přenosové soustavy je zajistit vyrovnávání výkyvů v síti. To znamená, že z míst s přebytkem elektřiny ji odvádí tam, kde je jí nedostatek. To se může stát např. při velkých rychlostech větru nebo v zimě, kdy je moc sněhu a dojde na několika místech k přerušení sítě. Proto je velmi důležité síť pečlivě hlídat a sledovat. Přenosová síť má pouze omezenou kapacitu, a pokud by došlo k překročení této kapacity, hrozil by výpadek sítě, který se může lavinovitě šířit. Právě z tohoto důvodu existují dispečerská stanoviště, která síť neustále monitorují.

Při přenosu elektrické energie je kladen důraz na:

- spolehlivost
- nepřetržitost
- kvalitu



*Obr. 2.1 Schéma distribuční sítě [17]*

Napětí v distribuční síti je rozděleno do čtyř napětových hladin: 110kV, 22kV, 10(6)kV, 0,4kV. Znázornění distribuční sítě s jejími napětovými hladinami je na obr. 2.1. Elektrické sítě se dále dělí na NN, VN a VVN.

Nové problémy přináší stále více rostoucí spotřeba elektrické energie a zahušťování osídlení v městech. Tím dochází k stále větším problémům se spolehlivostí starých sítí a vzniká potřeba použití větších transformačních jednotek.

V ČR je používané napětí v rozvodných soustavách:

- 0,4 kV - DS (to je 400 V sdružené a odpovídající 230 V fázové)
- 22 a 35 kV - DS
- 110 kV - DS, PS
- 220 kV - PS
- 400 kV - PS

Kde **DS** je distribuční soustava a **PS** je přenosová soustava.

Tab. 1 znázorňuje napěťové hladiny a jejich dovolené odchylky, které jsou dané příslušnými normami.

<i>Hladina napětí</i>	<i>Dovolená odchylka</i>	<i>Norma</i>
<i>NN</i>	$\pm 10\%$	ČSN 33 0121
<i>VN</i>	$\pm 10\%$	ČSN EN 50 160 (ČSN 33 0122)
<i>110kV</i>	$\pm 10\%$	ČSN 33 0120
<i>220kV</i>	$\pm 10\%$	
<i>400kV</i>	$\pm 5\%$	

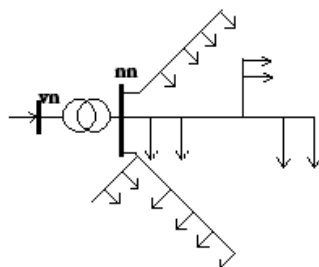
**Tab. 1 - Dovolené odchylky napětí**

## 2.1. Topologie sítí

Možnosti a vlastnosti distribuční sítě ovlivňuje zejména topologie sítě a také lokalita a hustota osídlení. Z hlediska topologie dělíme sítě na:

### a) Paprskové radiální

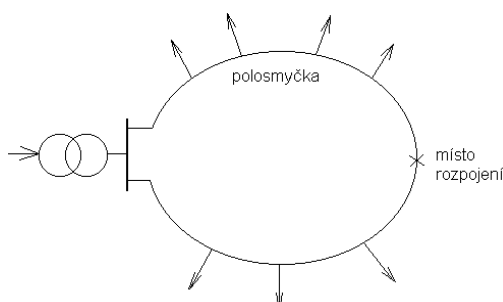
Používají se v malých městech a vesnicích, kde nejsou kladené zvýšené nároky na provozní spolehlivost. Tento způsob zásobování energií je nejlevnější, ale spolehlivost dodávky je celkem malá. V případě, kdyby došlo k poruše distribučního vedení vn nebo distribučního transformátoru, došlo by k přerušení elektrické energie minimálně po dobu nutnou k zajištění náhradního napájení. [2]



**Obr. 2.2 Paprsková síť**

### b) Smyčková (okružní) síť (jeden napáječ)

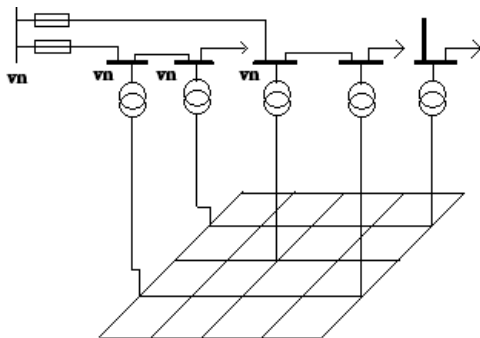
V praxi se používá pro všechny hladiny napětí nn, vn a vvn. Vedení musí být dimenzováno na zatížení celé oblasti, kterou zásobuje. Sítě jsou provozovány jako paprskové, ale pokud by došlo k poruše v některém úseku, lze velmi rychle zajistit náhradní napájení. Její velká výhoda spočívá v tom, že je možné napájení spotřebičů jednoho okruhu ze dvou stran, čímž se docílí zvýšení spolehlivosti dodávky elektrické energie.[2]



**Obr. 2.3 Smyčková síť**

### c) Mřížové sítě

Jsou tvořené alespoň dvěma napájecími místy s hlavními rozváděči a hustější sítě vzájemně propojených podružných rozváděčů. Jejich využití je zejména v nn kabelových sítích, v některých případech i u vn sítí. Je zde zaručena vysoká spolehlivost dodávky elektrické energie a lepší využití transformátorů a vedení. Tento druh rozvodu může pokrývat i velké plochy s četnými odběry elektrické energie, a je tedy vhodný pro napájení husté městské zástavby nebo objektů velkých a rozsáhlých průmyslových závodů. Pokud by došlo k výpadku jednoho distribučního transformátoru, musí být vedení a další transformátory dimenzovány tak aby byly schopny převzít jeho výkon. [2]



**Obr. 2.4** Mřížová síť

## 2.2. Geografické znázornění instalovaných zdrojů v ČR

Na mapě ČR (příloha A) je znázorněno rozdělení jednotlivých zdrojů elektrické energie v krajích České republiky. Je zde patrné, že největší instalovaný výkon poskytují parní zdroje, následně pak jaderné elektrárny. Celkový instalovaný výkon ke dni 30. 9. 2011 činil 20134MW. Vzhledem k tomu, že v současnosti spotřeba elektrické energie v ČR neustále roste, je instalovaný výkon větší. Z tohoto důvodu se do sítě zapojují stále nové zdroje elektrické energie, tzv. zelené zdroje.

Patrná je snaha o spolehlivé dodávání energie po celém území České republiky, tedy včetně lokalit, kde je jí nedostatek, nebo je její přísun omezen geografickými podmínkami (hory). Z toho důvodu se budují ve velké míře větrné a solární elektrárny, které by byly schopné pokrýt spotřebu energie nejen centrálně, ale také v těžko přístupných lokalitách. To však vede k přetěžování vedení přenosové soustavy. Proto se dnes stále více mluví o tzv. chytré síti (smart grid), která bude schopná regulovat spotřebu i dodávky energie, popřípadě je ukládat do akumulčních zásobníků.

Velmi důležitou oblastí v energetice je spolehlivost. Důvodem je rostoucí podíl zelených zdrojů energie, které mají kolísavý výkon, tudíž nejsou tak spolehlivé jak tradiční zdroje. Spolehlivost elektroenergetické soustavy je chápána jako schopnost této soustavy zajistit nepřetržitou a kvalitní dodávku elektrické energie spotřebiteli.

Cílem této diplomové práce je navrhnout akumulční jednotku, která bude schopná do baterií uvnitř kontejneru naakumulovat potřebnou energii. Tato energie bude moci být po nějakou dobu uchována v bateriích a v případě potřeby použita, buď k pokrytí špičkového odběru ze sítě, nebo pro napájení domu např. v horských oblastech.

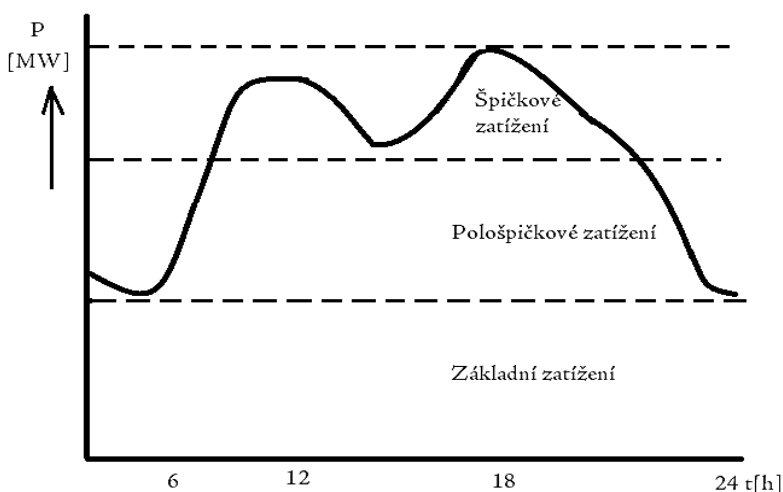
### 2.3. Diagram zatížení (DDZ)

Diagram zatížení (odběrový diagram) – vyjadřuje průběh spotřeby (výroby) elektrické energie za určité sledované období  $T$ . V praxi se můžeme setkat s tímto termínem např. u závislosti výkonu elektrárny, celé nebo části elektrizační soustavy apod.

Rozlišujeme denní (DDZ), týdenní (TDZ), měsíční (MDZ) a roční (RDZ) diagram zatížení. Průběh zatížení je ovlivněn např. klimatickými podmínkami, pracovní aktivitou, střídáním ročních období (RDZ), střídáním pracovních a volných dnů (TDZ), pracovní a nepracovní doby a dne a noci (DDZ). [14]

**DDZ lze rozdělit do tří částí:**

- základní zatížení
- polo špičkové zatížení
- špičkové zatížení



**Obr. 2.5** Denní diagram zatížení

#### **Základní zatížení**

Jedná se o oblast DDZ vymezenou nulou a minimálním výkonem (příkonem). Hodnota tohoto zatížení se během dne nemění. Tuto oblast představují především elektrárny, které pracují nepřetržitě a dodávají do sítě neustále elektrickou energii. Jedná se tedy o elektrárny, u nichž nelze zajistit rychlé najíždění a odstavení, protože mají špatnou (pomalou) regulaci výkonu. Z tohoto vyplývá, že pro tuto oblast se používají především elektrárny jaderné, vodní průtočné, a některé uhelné.

#### **Pološpičkové zatížení**

Jde o oblast ležící mezi základním a špičkovým zatížením. V této oblasti pracují především klasické elektrárny (uhelné, spalovací) a vodní elektrárny průtočné.

## Špičkové zatížení

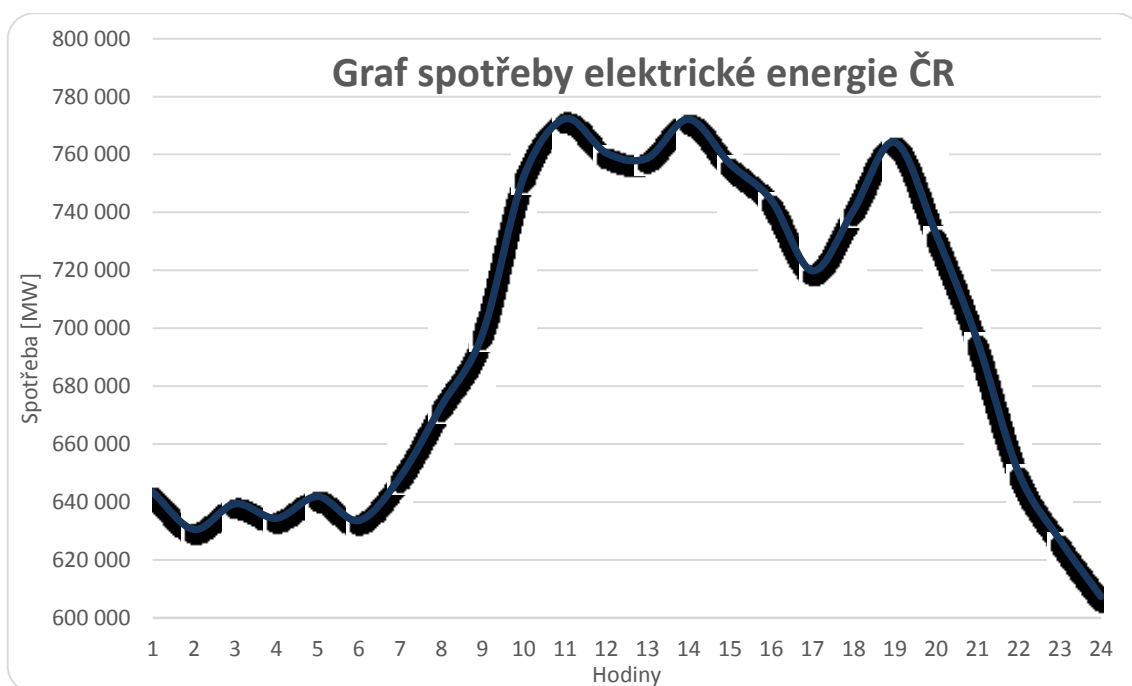
Jde o oblast vymezenou maximálním výkonem. V této oblasti pracují především elektrárny, které lze snadno a rychle regulovat z důvodu schopnosti pokrýt okamžité výkonové špičky. Jedná se tedy především o vodní přečerpávací elektrárny.

## Prostředky pro vyrovnaní (linearizaci) DDZ

Při vyrovnanějším zatížení je delší doba využití maxima  $\tau$ , a tím je také vyšší zatěžovatel z. Náklady na výrobu elektrické energie jsou potom nižší. Spotřebu lze regulovat, a tím linearizovat DDZ, např. těmito prostředky:

- Přečerpávací vodní elektrárny (PVE)
- Hromadné dálkové ovládání (HDO)
- Zavedení zvýhodněných tarifů za elektrickou energii (tzv. „noční proud“)
- Zavedení letního času
- Mezinárodní výměna elektrické energie (saldo) v rámci propojených elektrizačních soustav jednotlivých států
- posunutí a rozložení začátků pracovní doby v čase, směnnost, apod. [14]

Spotřeba energie se do značné míry odvíjí od denní doby. Obecně se dá říci, že v noci je nižší, minima dosáhne kolem čtvrté hodiny ranní. Prudký nárůst začíná od osmi hodin. Od desáté do dvacáté hodiny zůstává relativně konstantní. Poté opět klesá, případně dočasně stoupne a poklesne po dvacáté první hodině. Průběh křivky DDZ je obdobný během celého roku. Velikost spotřeby se v závislosti na ročním období mění. Z uvedeného grafu na obr. 2.6 je patrné, že špičky spotřeby elektrické energie jsou mezi jedenáctou až patnáctou hodinou, následně pak kolem osmnácte a devatenácte hodiny večer. Pro pokrytí spotřeby při střední zátěži a ve špičkách jsou využívány starší tepelné, vodní a přečerpávací elektrárny.



Obr 2.6 Průměrný denní diagram zatížení v síti ČEZ ze dne 23.2.201

## 2.4. Úvod do Smart Grid (chytré sítě)

V posledních letech jsou Chytré sítě (anglicky *Smart Grid*) velmi diskutovaným tématem. Jedná se o nový koncept, který se zabývá využitím el. energie a týká se široké oblasti elektroenergetiky tzn. od výroby až po koncového zákazníka.

Princip spočívá v interaktivní obousměrné komunikaci mezi zdrojem el. energie a spotřebitelem o aktuálních možnostech výroby a spotřeby energie. Využívají se k tomu elektrické a komunikační sítě, kde je možnost regulace výroby a spotřeby elektrické energie v reálném čase, jak v dané lokalitě, tak v globálním měřítku.

Tyto sítě obsahují kontrolní a řídicí systém, integrované senzory, které monitorují chování sítě. Nedílnou součástí je dostupnost o kvalitě dodávky, informace o zatížení sítě, přerušení apod. Zákazníci jsou vybaveni digitálními měřidly s obousměrným tokem informací v reálném čase (tzv. chytré elektroměry).

Zákazníkům umožňuje efektivně řídit spotřebu, např. ohřev vody v době s volnou výrobní kapacitou. Dále je možnost zapojení solárních a větrných elektráren a dalších decentralizovaných výrobních technologií, což dává příležitost zákazníkům vyrábět elektřinu z vlastních zdrojů a její přebytky prodávat do sítě. Nedílnou součástí je ukládání energie do baterii nebo setrvačnicku pro pozdější využití např. když dojde k přerušení sítě. Aby bylo zajištěno trvalé dobíjení, může být tato akumulární jednotka připojena k síti se solární nebo větrnou energií

Inteligentní sítě se již delší dobu testují. U nás se zkouškami zabývá společnost ČEZ v regionu Vrchlabí. [16]



Obr. 2.7 Koncept chytré sítě [16]

### Výhody Smart Grid :

- Ekologičtější energie
- Přehled o spotřebě
- Nižší intenzita poruch
- Chytré domy budoucnosti a jejich rozvoj.

### Nevýhody Smart Grid:

- Vysoké investiční náklady
- Možnost selhání softwarové části – kybernetický útok



### 3. Akumulace elektrické energie

Schopnost ukládat elektřinu, bude v budoucnosti velmi důležitá. S rozvojem obnovitelných zdrojů se očekává výrazná decentralizace energetických systémů a regulovat je pouze sdílením informací mezi výrobou a spotřebou bude obtížné. Akumulace energie tak bude fungovat jako jistá rezerva, vyhlazující krátkodobé výkyvy výroby a spotřeby. Důkazem důležitosti akumulace pro budoucnost energetiky jsou miliony dolarů, které do vývoje nových akumulačních technologií (baterií, setrvačnicků a super-kondenzátorů) investuje. Nejzřejmějším využitím akumulačních technologií je napodobení funkce přečerpávací elektrárny. Tedy akumulace přebytečné energie v době výrobní špičky a její dodání do sítě v době největší spotřeby. Při současných cenách akumulace se však jedná o velmi drahé řešení, které se z rozdílu cen elektřiny ve špičce a mimo ni nezaplatí. [8]

#### *Akumulační technologie:*

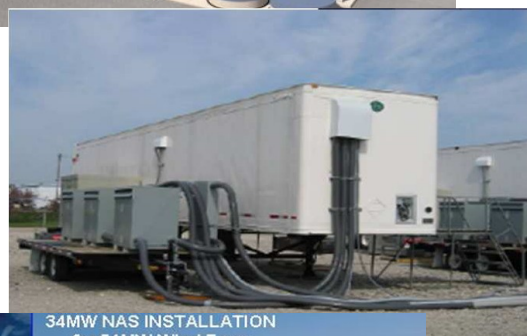
- Poskytování energie vs. poskytování výkonu
- Poskytování výkonu:
- Vysoký poměr výkon (kW)/ energie (kWh)
- Krátké časy, max. minuty
- Aplikace: kvalita elektřiny (frekvence, napětí)



a)

#### *Poskytování energie:*

- Vysoký poměr energie (kWh)/ výkon (kW)
- Dlouhé vybíjecí časy (v hodinách)
- Aplikace: časový posun dodávek do sítě, integrace FVE/VTE



b)



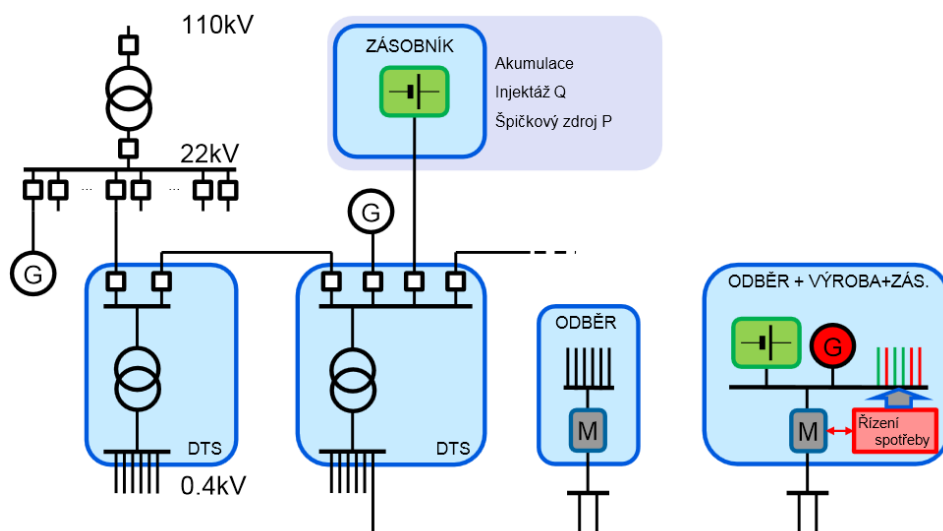
c)

**Obr. 3.1** Akumulační technologie:

a) Setrvačníky

b) Li-ion baterie,

c) NaS baterie



**Obr. 3.2** Akumulace a její použití v síti [18]

Nevýhodou velkých elektráren je velmi omezená možnost regulace výkonu. Uhlíková elektrárna najíždí na plný výkon až půl dne, jaderná elektrárna několik týdnů. Nevýhodou využívání solární či větrné energie je nerovnoměrnost slunečního svitu a větru. Částečně tyto výkyvy mohou vyrovnávat vodní elektrárny či připravované „inteligentní rozvodné sítě“, ale to vždy nemusí stačit. Proto v době přebytku energie je třeba ji akumulovat pro pozdější využití v době jejího nedostatku. Tak by bylo možné vyrovnávat rozdíly mezi špičkovým a mimošpičkovým odběrem a vykrývat energetické špičky v distribuční síti. Schéma použití v distribuční síti je znázorněno na obr. 3.2. Ještě potřebnější je akumulace energie v oblasti ostrovních systémů (systémů nepřípojených k elektrorozvodné síti), neboť zde je rozhodujícím faktorem efektivita celého systému. Existuje mnoho způsobů akumulace energie. Vždy se jedná o její přeměnu na jinou formu, ve které může být efektivněji uskladněna a v případě potřeby znovu přeměněna na energii elektrickou. [7]

Mezi nejdůležitější požadavky pro akumulaci elektřiny patří:

- Velikost a kapacita, (hustota energie).
- Účinnost a její změna s časem.
- Životnost, počet cyklů.
- Doba, po kterou lze energii uchovat (ztráty při této úschově).
- Maximální výkon, který dokáže poskytnout a rychlost uvolnění energie.
- Vliv na životní prostředí a bezpečnost.
- Investiční náklady a výsledná cena za kWh.

### **Podle principu uchování energie rozlišujeme:**

- a) Chemický princip – akumulátory
  - olověné a alkalické akumulátory
  - průtokové baterie
  - akumulátory pracující na principu Lithium-Ion, Sodík-Síra, NiCd
  - superkondenzátory
- b) Fyzikální princip
  - setrvačníky
  - přečerpávací vodní elektrárny
  - akumulace energie založená na stlačeném vzduchu

Cílem této diplomové práce není detailně se zabývat všemi prostředky pro akumulaci energie, proto je zde uvedeno jen pár základních prostředků a jejich vlastnosti.

### **3.1. Superkondenzátory (EDLC)**

Označovány také jako ultrakondenzátory (ultracapacitors) nebo EDLC (electric Double Layer Capacitor). Energie se zde uchovává ve formě elektrostatické energie. Jejich hodnota běžně dosahuje kapacit jednotek až tisíců Faradů. Zvýšení měrné kapacity na stovky až tisíce Faradů bylo dosaženo principem využití vlastností elektrické dvouvrstvy.

**Výhody superkondenzátorů:** vysoká účinnost, dlouhá životnost (desítky let) schopnost dodat okamžitě plný výkon, odolnost proti přebíjení i extrémnímu vybíjení, veliký počet nabíjecích cyklů, krátká doba nabíjení, téměř stoprocentní účinnost.

Jeho nasazení je především v automobilové technice, v hybridních a elektrických vozidlech, kde dodávají energii při rozjezdu a ukládají energii získanou rekuperací při brzdění. Budoucnost superkondenzátorů je především v krátkodobých zálohovacích zdrojích (hodiny, radiobudíky, stolní počítače), hybridních automobilech, napájení nízkopříkonové kapesní elektroniky (hodinky, MP3 přehrávače) a pro akumulaci elektrické energie pro malé větrné a solární elektrárny. Jeho využití nejvíce roste v oblasti spotřební elektroniky a energetiky. Tam by superkondenzátory mohly posloužit v tzv. inteligentních sítích.

Superkondenzátory spolu s novými, pokročilými bateriemi budou sloužit k regulaci těchto sítí, které čím dál tím častěji využívají obnovitelné zdroje energie.

Dvouvrstvá struktura superkondenzátoru je složena z následujících částí:

- kladná elektroda tvořená hliníkovou fólií
- aktivní uhlík
- separátor
- aktivní uhlík
- záporná elektroda tvořená hliníkovou fólií



**Obr 3.3** Ultracapacitor

V této kapitole byly použity zdroje informací z: [13], [15]

### 3.2. Elektrochemické akumulátory

Elektrochemické akumulátory akumulují energii ve formě chemické energie. Jejich výhodou je dobře zvládnutá technologie výroby, operativní použití, možnost mnohonásobného opětovného nabíjení a relativně nízká cena. Nevýhodou je samovybíjení a citlivost na hluboké vybíjení, při kterém nastávají nevratné změny na elektrodách s následkem snižování kapacity akumulátoru. Rovněž poměr akumulované energie ke hmotnosti akumulátoru činí tento způsob akumulace málo efektivní.

Vybitý akumulátor se nabíjí tak, že se reakční produkty převedou elektrickým proudem opět na původní reaktanty. Během nabíjení nabíjecím proudem z jiného zdroje se dodávaná elektrická energie mění na energii chemickou a během vybíjení se akumulovaná chemická energie opět mění na energii elektrickou dodávanou do elektrického obvodu, kde je akumulátor zapojen. Záporná elektroda je katodou během vybíjení a anodou během nabíjení. Při vybíjení zde reaktant oxiduje a volné elektrony předává záporné elektrodě. Kladná elektroda je anodou během vybíjení a katodou během nabíjení. Při vybíjení je zde redukován reaktant a volné elektrony reaktant přijímá z kladné elektrody.

7

**Akumulátory dělíme na:**

- údržbové – Pb
- bezúdržbové – AGM, VRLA

### 3.2.1. *Pb akumulátory*

Olověný akumulátor je dnes nejpoužívanějším sekundárním zdrojem. Velmi jednoduše lze říci, že olověný akumulátor tvoří olověné desky (elektrody), ponořené do zředěné kyseliny sírové. Jeden článek akumulátoru je tvořen dvěma deskami. Během vybíjení se tvoří na obou stranách špatně rozpustný síran olovnatý. U olověných akumulátoru jako elektrolyt se je zředěná kyselina sírová, která v roztoku disociuje na kladné vodíkové ionty a záporné síranové ionty. Na obou elektrodách vzniká síran olovnatý. [19]

**katoda<sup>+</sup>** - čisté olovo – stříbrná barva

**anoda<sup>-</sup>** - oxid olovičitý – hnědá barva

Desky jsou vyráběny v standardních velikostech a pro odstupňování výkonu se paralelně spojují v deskové skupiny přivařené na společný můstek s pólovým vývodem. Záporná skupina má vždy o jednu desku více. Desky v soustavě jsou proloženy oddělovacími vložkami, separátory.

Separátory zajišťují vzdálenost mezi deskami opačné polarity a celou sestavu zpevňují. Vlastnosti separátorů mají velký vliv na vlastnosti akumulátoru, zvláště na jeho vlastnosti při nízkých teplotách. Nesmějí bránit snadnému průchodu iontů, nesmějí se dotýkat desek v příliš velké ploše, aby byl ponechán prostor pro elektrolyt a snadno se vyrovnávala jeho hustota.

Vnitřní odpor olověného akumulátoru je velmi malý, řádu 0,001Ω. Závisí na hustotě a teplotě elektrolytu. Při nabíjení se tento odpor zmenšuje, při vybíjení akumulátoru zvětšuje.

#### **DRUHY A VELIKOST NAPĚTÍ NA ČLÁNEK:**

minimální napětí - 1,75 V

jmenovité napětí - 2 V

maximální napětí - 2,7 V teoreticky, 2,4 V prakticky

Pro technické účely se proto běžně využívají akumulátory sestavené sériově do baterií. Většina akumulátorů je schopna opětovného nabití ve stovkách až tisících cyklů.

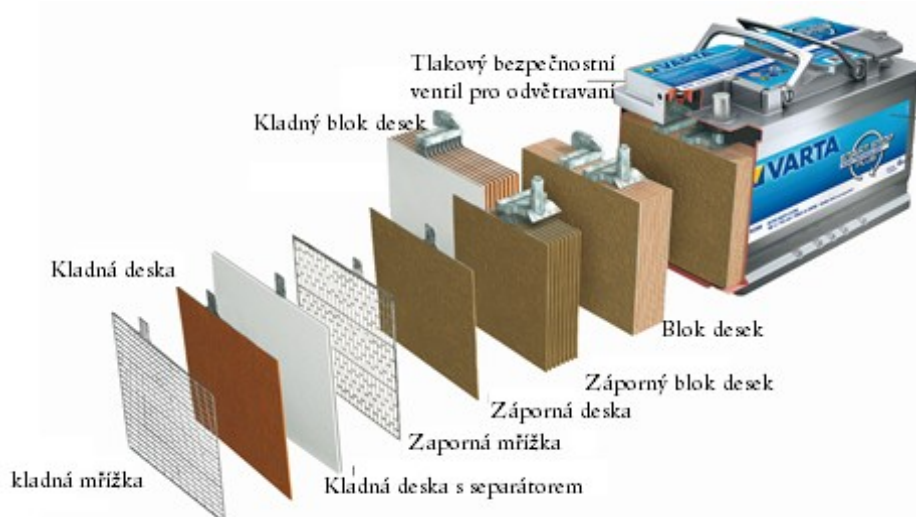


***Obr. 3.4 Olověný akumulátor***

### 3.2.2. Akumulátory s vázaným elektrolytem – AGM

AGM akumulátor má poněkud jinou konstrukci separátoru a uzpůsobené řešení elektrod – mřížek. Vlastní AGM akumulátorový článek se skládá z množství kladných a záporných elektrod, jež jsou odděleny speciálním separátorem ze skelných vláken dotovaných bórem, který těsně přiléhá na jednotlivé mřížky. Výhodou tohoto typu separátoru je vynikající iontová vodivost, umožňující rychlý průnik plynů a tím účinnou rekombinaci na záporné elektrodě a výbornou schopnost vázat elektrolyt. V akumulátorech tohoto typu je elektrolyt právě vázán (vsáklý) v separátoru. Proto AGM akumulátor nemá zaplavené elektrody.

Výhodou AGM akumulátorů je velký podaný výkon za nízkých teplot, vysoká odolnost vůči otřesům, zvýšená kapacita při snížení hmotnosti, absolutní bezúdržbovost – žádné dolévání destilované vody, žádné hlídání hladiny elektrolytu a pomalé samovybíjení. Charakterizuje je nízká hmotnost, malé rozměry, však úctyhodný výkon. AGM akumulátory jsou hermeticky uzavřené, bez nutnosti řešit odvětrávání plynů. Lze je najít i ve vojenské technice, automobilové technice a letectví. [6]



**Obr. 3.5** Složení AGM akumulátoru

### 3.2.3. Gelový akumulátor

Konstrukce gelového akumulátoru je podobná každému jinému akumulátoru. Obsahuje sestavu kladných a záporných mřížek oddělených celkem běžným separátorem. Elektrolyt je zde však vázán v tixotropním křemičitém gelu ( $\text{SiO}_2$ , který je pak aditivován dalšími látkami) – nikoliv v separátoru jako u AGM. Gelové akumulátory snížily díky suspendovanému elektrolytu riziko stratifikace kyseliny prakticky na nulu. Díky většímu nároku na prostor uvnitř baterie mají však gelové baterie menší kapacitu i výkon než baterie AGM ve stejném rozměru  $\text{GEL} = 85\text{-}90\% \text{ AGM}$ . [6]

### Výhody gelové akumulátoru:

- Vynikající teplotní stabilita
- Vysoká schopnost vybíjení „do hloubky“ a dobrá obnova z hlubokého vybíjení
- Nižší citlivost na vyšší provozní teplotu.
- Bezúdržbové
- Vyšší stupeň cykličnosti

Díky vyššímu stupni cykličnosti jsou velmi vhodné pro použití ve fotovoltaických systémech typu Off-Grid (ostrovní aplikace), například pro napájení chat a objektů mimo dosah elektrické sítě.

### 3.2.4. Základní vlastnosti Pb, AGM a gelových akumulátorů [6]

- **Napětí akumulátoru** – udává se ve voltech [V] a je závislé na počtu článků baterie. U olověného 6-ti článkového (12-ti voltová baterie) plně nabitého akumulátoru je jeho svorkové napětí cca 12,6 až 12,8V, kdežto plně vybitého cca 10,5V.
- **Proud** – udává se v [A]. Zjišťujeme doporučenou hodnotu dobíjecího proudu, počítáme dobu nabíjení při konstantním proudu, proudový odběr spotřebičů a dle toho dimenzujeme akumulátor.
- **Jmenovitá kapacita akumulátoru** – udává se v ampérhodinách [Ah]. Obvykle se udává pro zatížení jmenovitým proudem po dobu 20 nebo 10 hodin. Čím větší udávaná kapacita, tím více energie je akumulátor schopen naakumulovat a následně vydat.
- **Vnitřní odpor akumulátoru** – udává se v ohmech [ $\Omega$ ]. Čím nižší hodnota vnitřního odporu, tím je akumulátor „tvrdší“.
- **Samovybíjení akumulátorů** je realitou každého provedení akumulátoru. Baterie se zaplavenými elektrodami se vnitřními pochody zcela vybije do cca 6 – 9 měsíců. Pokud budeme sledovat po jaké době odstávky klesne kapacita plně nabitého akumulátoru na 80% původní hodnoty, pak u gelového akumulátoru to je za cca 6 měsíců, u AGM za 4 měsíce. Hodnoty jsou závislé od konkrétního výrobce, typu a provedení akumulátoru. Samovybíjení se zhoršuje stářím akumulátoru a nezapomínejme také, že je silně závislé na okolní teplotě.
- **Startovací kapacita, vybíjecí proud** – (označuje se mnohdy písmeny CCA – Cold Cranking amps) definuje tzv. „startovací“ schopnosti akumulátoru za studena.
- **Hlubkové vybíjení** – vždy zkracuje životnost akumulátoru. Je to takové vybíjení, při kterém napětí klesá k hladině 10,5V nebo níže. Takto vybitý akumulátor musíme ihned nabít, jinak jej ohrozíme masivní sulfatací. Udává se, že akumulátor se zaplavenými elektrodami vydrží hluboce vybitý nejvýše 1 až 2 dny, gelový až 4 týdny. Pro zachování dlouhé životnosti baterie je však nutné ukončit její vybíjení vždy daleko dříve a to nejpozději při vyčerpání 75 až 80% její kapacity, tj. při napětí naprázdno 11,9 až 12,2V dle typu a provedení akumulátoru.

### 3.2.5. Li-ion akumulátor

Katodu v lithiových člancích tvoří sloučeniny lithia ( $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$  a řada dalších) a anoda je vyrobena z uhlíku. Elektrolyt tvoří lithiové soli (např.  $\text{LiPF}_6$ ) rozpuštěné v organickém rozpouštědle. Články disponují velkou energetickou hustotou. Nevýhodou těchto akumulátorů je poměrně vysoká cena, nižší životnost a citlivost na podmínky nabíjení a vybíjení.

Akumulátory Li-ion jsou nabíjené především ze zdroje napětí s omezením nabíjecího proudu. Při nabíjení Li-ion je třeba velmi přesně dodržet konečné nabíjecí napětí. Malé překročení nabíjecího napětí podstatně zkrátí dobu životnosti článku, při napětí menším se článek nenabije na plnou kapacitu. Konečné nabíjecí napětí je podle typu článku 4,1 nebo 4,2 V a je třeba je dodržet s přesností  $\pm 1\%$ . Nabíjecí proud není třeba přesně dodržet, bude-li menší, bude nabíjení trvat déle.

Na rozdíl od olova je lithium velmi lehký kov a díky jeho velké reaktivitě mají lithiové články relativně vysoké napětí (3,7V). Lithium oproti olovu nepředstavuje významné ohrožení pro životní prostředí.

#### Nevýhody Li-ion fosfátových akumulátorů

- Rychlé dobíjení snižuje životnost
- Možnost předčasného selhání při větším množství hlubokých cyklů (vybití pod 33%)

### 3.2.6. LiFePO<sub>4</sub> akumulátor

Nominální napětí  $\text{LiFePO}_4$  článků je zhruba 3,2 V (mezi 3,0 až 3,3 V), maximální nabíjecí napětí je 4,25V. Minimální napětí, na které je možné článek vybit je obvykle 2,5V. Tyto články jsou schopny dodat pracovní proud impulsně až 20C, dlouhodobě až 3C. Samovybíjecí efekt u těchto článků prakticky neexistuje a je možné je nabíjet v jakémkoliv stavu vybití (nemají paměťový efekt). Baterie na bázi fosforečnanu železnato-litného je šetrnější k životnímu prostředí, protože nahrazuje toxické kovy, jako jsou kadmium nebo olovo. Katoda těchto baterií je tvořena fosforečnanem železnato-litným, anoda je složena z uhlíku. Elektrolyt je absorbován v separátorech a na deskách, speciální jednosměrný ventil umožňuje unik nahromaděných plynů.

#### Základní výhody $\text{LiFePO}_4$ článků:

- Téměř plochá křivka až do úplného vybití akumulátoru
- Vysoký počet dobíjecích cyklů (2000 – 3000)
- Netoxické
- Nemá paměťový efekt
- Bezpečné oproti jiným typům lithiových baterií
- Vysoká životnost (3-10 let)
- Vynikající dobíjecí účinnost (95%)
- Levné oproti jiným lithiovým bateriím
- Vyšší hustotu energie (80-120 Wh/kg) – dnes se již běžně baterie s hustotou 170 Wh/kg a vyšší (11)



### Hlavní aplikace:

- Zdroj pohonu elektromobilů
- Solární aplikace
- Záložní systémy energií
- Akumulátory do aut

### Srovnání nejpoužívanějších typů průmyslových akumulátorů

Typ Článku	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Olověný AGM DC
Hustota energie (Wh/kg)	45-80	60-120	90-120	30-50
Počet cyklů (při 80% hloubce vybití)	1500	300-500	>1500	400-500
Projektovaná životnost	5 let +	3-4 roky	10 let+	10 let+
Doba nabíjení	1-2h	2 – 4h	½ - 4h	8 -16h
Samovybití/měsíc (při cca 20°C)	20%	30%	5-10%	5%
Nominální napětí článku	1.2V	1.2V	3.3V	2V
Proudová zatížitelnost špička optimální	20C 1C	5C 0.5C	25C 5C	5C 0.2C
Provozní teploty (pro vybití)	-40~60°C	-20 ~ 60°C	-20 ~60°C	-20 ~60°C
Požadavky na servis	30-60 dnů	60-90 dnů	6 měsíců	6 měsíců
Přibližné náklady (EUR/Wh)	0.33	0.65	0.33	0.11

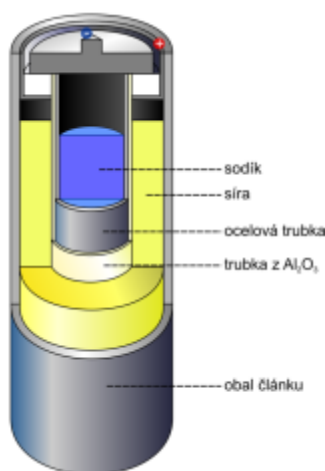
Tab. 2 Srovnání vlastností nejpoužívanějších akumulátorů [12]

#### 3.2.7. NaS akumulátor

Výhodné vlastnosti pro energetiku mají akumulátory NaS (sodík – síra). Jejich výhodou je relativně slušná energetická hustota, celkem dobrá účinnost (87 %) a prakticky nepodléhají samovybití. Jejich životnost je zhruba 15 let a snesou velký počet cyklů (2500 – 4500). Sodík a síra jsou dostupné a levné prvky, kterých je na Zemi opravdu hodně a nejsou při správném zacházení toxické pro životní prostředí.

Zásadní nevýhodou těchto akumulátorů je ovšem to, že musí pracovat za vysoké teploty (přibližně 300°C) kdy sodík a síra jsou v kapalném stavu. Kapalný sodík je dost nebezpečná látka; při styku se vzduchem okamžitě hoří a při styku s vodou dojde k výbuchu vzniklého vodíku. Pro použití ve velkých stacionárních jednotkách (elektrárnách) to nepředstavuje tak zásadní omezení.

NaS akumulátorovou bateriovou jednotku o výkonu 1 MW a kapacitou 7,2MWh instalovala např. japonská společnost TEPCO pro vyrovnávání zatížení sítě v oblasti Tokia a pro zlepšení stability sítě při využití obnovitelných zdrojů. Velká instalace se plánuje v Mexiku (Silicon Border's Science Park) v blízkosti hranic s USA .



**Obr. 3.6** NaS akumulátor – schéma článku

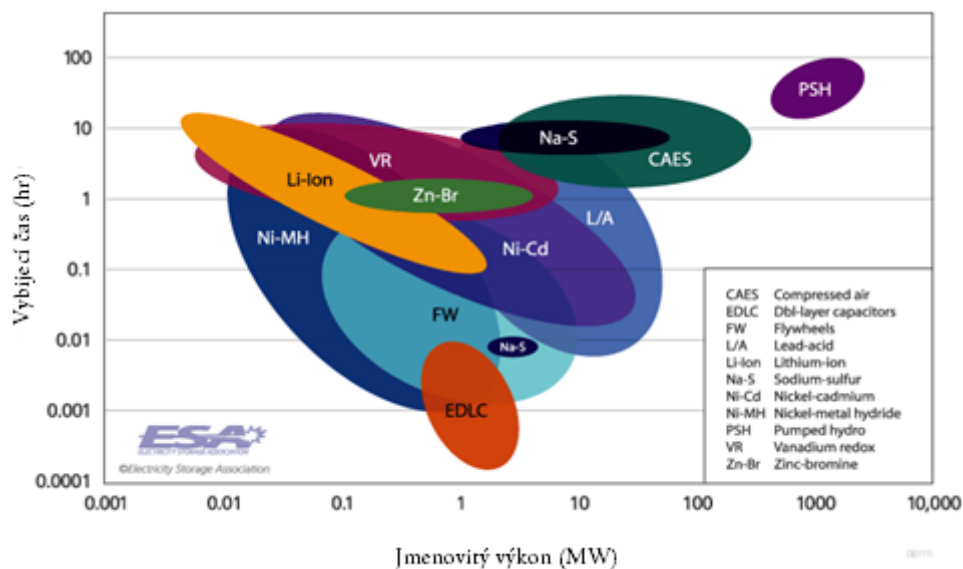
### 3.2.8. Kritéria pro výběr akumulátoru

Velké stacionární aplikace skladování elektrické energie lze rozdělit do tří hlavních funkčních kategorií:

**Napájecí kvalita:** Uložená energie v těchto aplikacích je použita pouze na několik vteřin, nebo méně podle potřeby, aby byla zajištěna kontinuita kvality výkonu.

**Přemostění el. energie:** Uložená energie v těchto aplikacích se používá sekundy až minuty, aby byla zajištěna plynulost přepravy při přechodu z jednoho zdroje energie na druhý.

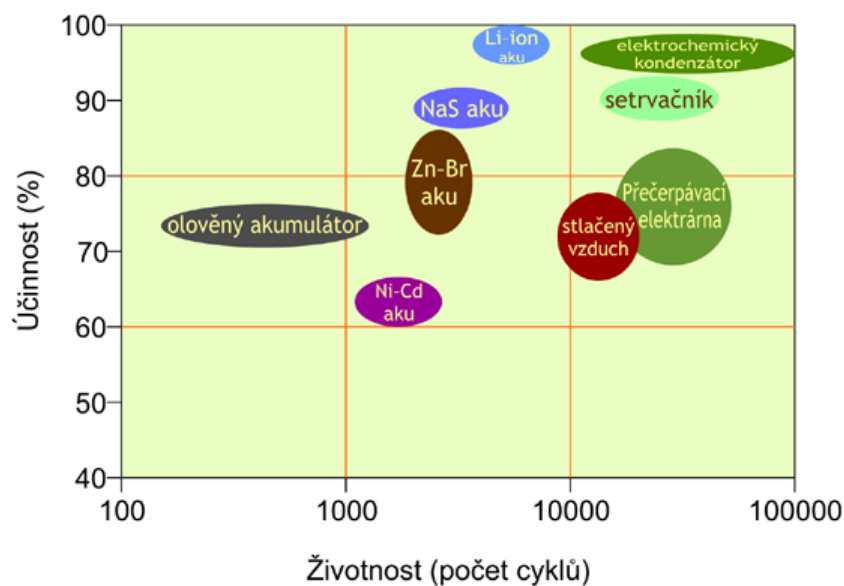
**Energetický Management:** Úložná média v těchto aplikacích se používají k oddělení doby výroby a spotřeby elektrické energie. Typickou aplikací je rozložení zatížení, které zahrnuje nabíjení, skladování a využití v případě potřeby. To umožňuje spotřebiteli být na síti nezávislým na mnoho hodin. Ačkoli, některé technologie skladování můžou fungovat ve všech třech oblastech, přesto většina možností není hospodárných.



**Obr. 3.7** Graf znázorňující dobu vybití na jmenovitém příkonu u jednotlivých akumulátorů

### Životnost a účinnost akumulátorů

Účinnost a cyklus života jsou dva důležité parametry, které je třeba společně s ostatními před výběrem technologie ukládání akceptovat. Oba tyto parametry mají vliv na celkové skladovací náklady. Nízká účinnost zvyšuje efektivní náklady na energii pouze za zlomek akumulované energie, která by mohla být využita. Nízký počet životních cyklů také zvyšuje celkové náklady na ukládání.



**Obr. 3.8** Graf znázorňující účinnost v závislosti na životnosti akumulátorů

### 3.3. Akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách

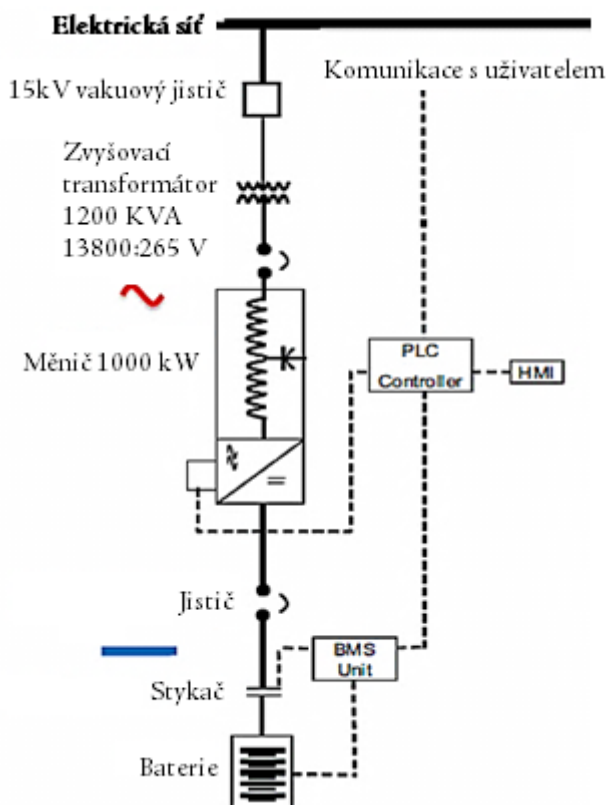
Nejčastěji využívaná akumulace elektrické energie je prováděná pomocí přečerpávacích elektráren. Princip spočívá v tom, že jedná nádrž je umístěna na vyvýšeném místě (kopci) a druhá se nachází pod ní. Oba rezervoáry jsou propojeny potrubím s reverzní turbínou, která umožňuje v době přebytku energie čerpat vodu do horní nádrže. V době nedostatku energie voda z horní nádrže je vypouštěna a energii předává turbíně a k ní připojenému elektrickému generátoru. Lze tak vyrovnávat nerovnoměrný odběr energie z rozvodné sítě ve špičkách a mimo ně. Vodní elektrárna najíždí na plný výkon během velmi krátké doby – přibližně 100 s.

Rozměry nádrží, turbíny i generátoru je třeba dimenzovat podle plánovaného využívání. V ČR jsou tři velké přečerpávací elektrárny ČEZ a stavba dalších je plánována. Největší z nich je přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně.

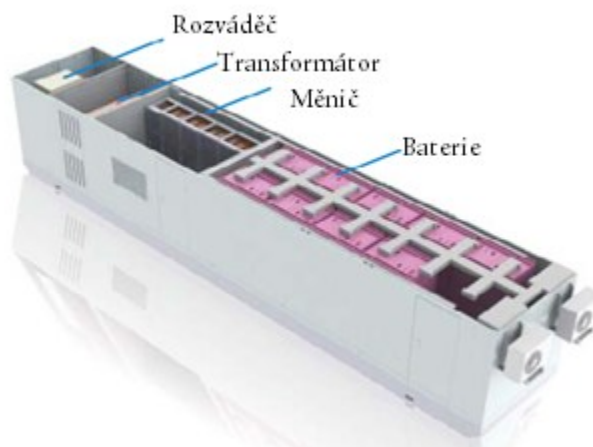
### 3.4. Firmy zabývající se akumulací elektrické energie

#### 3.4.1. ABB

Tato firma se zabývá vývojem a výrobou modulu pro uchování elektrické energie ESM. Tento modul se vyrábí v různých variantách. ESM obsahují měniče, které převádí AC energii na DC k uskladnění do baterií a po té ji zpátky převádí z DC na AC. Převedený střídavý proud může být připojen do sítě nízkého (<1000 voltů) nebo vysokého napětí (<40.5 kV). [9]



**Obr. 3.9** Blokové schéma systému pro skladování energie BESS

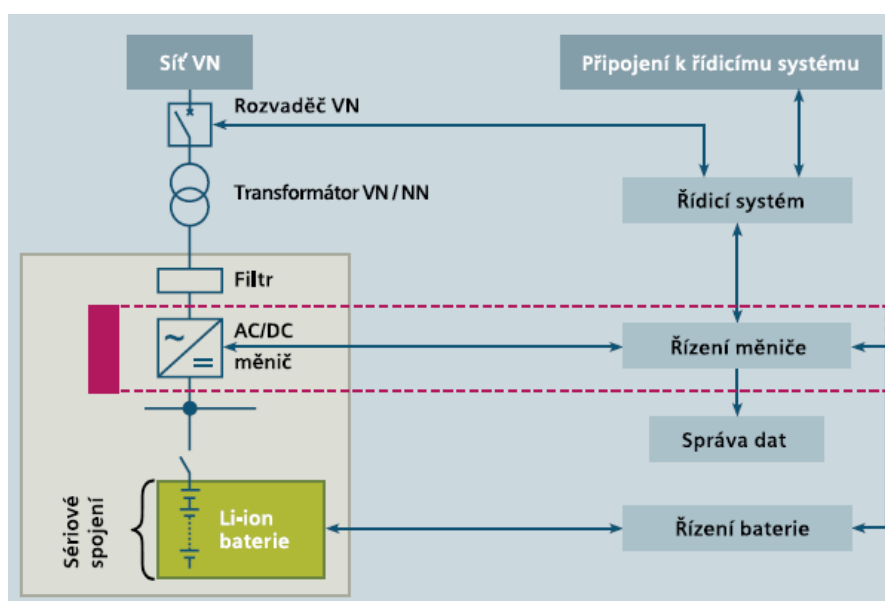


**Obr. 3.10** Modul ESM

### 3.4.2. SIEMENS

Modulární akumulční systém SIESTORAGE (Siemens Energy Storage) zajišťuje dostatečné množství rezervního výkonu potřebného pro stabilizaci a regulaci lokální distribuční sítě. Přispívá tím k větší spolehlivosti jejího provozu. Siestorage obsahuje nejnovější elektroniku pro omezení výkonových špiček v síti a nejnovější model výkonových Li-ion baterií, které můžou dodávat výkon až 8MVA při kapacitě až 2MWh. Připojení k lokální síti je provedeno na straně NN, na hladině 400/230 V, případně přes transformátor do sítě VN. [10]

Technická data bateriové skříňe	
Kapacita	25 kWh
Jmenovitý výkon	50 kW
Špičkový výkon	75 kW
Jmenovité napětí	400/230 V AC
Jmenovité napětí	832 V DC (16 x 52 V DC)



**Obr. 3.11** Blokové schéma Modulárního akumulčního systému SIESTORAGE

## 4. Návrh akumulční jednotky

Cílem této práce je navrhnout akumulční jednotku, která bude schopná pokrýt špičkový odběr elektrické energie z distribuční sítě, a zároveň budeme moci docílit rovnoměrnějšího odběru energie během celého dne. Tato jednotka byla navržena pro vesnici ležící mezi horami – Hrádek. Navrhovaná jednotka bude připojena k transformátoru 160kVA.

Celkový instalovaný výkon pro tuto vesnici činí 12,5 MVA. Nachází se zde dvanáct distribučních transformátorů o různých výkonech. Největší výkon transformátorů dosahuje 630kVA. Hodnota výkonů transformátoru nacházejících se na konci obce je 160kVA.

Aby bylo možno zjistit parametry této jednotky, bylo nutné zjistit kolik domů je připojených na transformátor 160kVA a následně pak spočítat průměrný příkon jednoho rodinného domku. Dle vypočtených hodnot stanovit DDZ a vypočítat velikost hodnoty baterie, do které se bude energie akumulovat.

### 4.1. Výpočet parametrů pro stanovení DDZ

#### 4.1.1. Parametry DTS

$U_{\text{prim}} = 22\text{kV}$ ,  $U_{\text{sek}} = 0,4\text{kV}$ ,  $u_k = 4\%$ ,  $I_{\text{jsek}} = 230\text{A}$ . Připojených je 27 rodinných domů.



*Obr. 4.1 Olejový distribuční transformátor*

#### 4.1.2. Výpočet parametrů rodinného domku

Průměrná hodnota jističe v rodinném domě činí 3x30 A. Z toho vyplývá, že max. příkon jednoho rodinného domu je 20,7kW.

#### Instalovaný výkon $P_i$ jednoho RD

$$P_i = P_{\text{osvetlení}} + P_{\text{el. Vaření}} + P_{\text{ohrev(TUV)}} + P_{\text{ostatní}} = 2 \text{ kW} + 5 \text{ kW} + 2,5 \text{ kW} + 4 \text{ kW} = 13,5 \text{ kW} \quad (4.1-1)$$

### Soudobý příkon $P_b$ jednoho RD

$$P_b = P_i \times \beta = 13,5 \cdot 0,8 = 10,8 \text{ kW} \quad (4.1-2)$$

$\beta$  = součinitel náročností – určuje reálné zatížení

### Výpočet zatížení $P_p$ pro 27 RD

$$P_p = (P_b \cdot n) \cdot \beta_n = (10,8 \cdot 27) \cdot 0,34 = 99,1 \text{ kW} \quad (4.1-3)$$

$n$  – počet domu

$\beta_n$  – soudobost pro 27 RD

$P_b$  – Soudobý příkon

### Soudobost $\beta_n$ pro 27 RD

Výpočet soudobosti  $\beta_n$  je závislý na počtu RD, který se v tomto případě nemění. Stupeň elektrizace na něj nemá žádný vliv. Tabulková hodnota pro 27 domu je  $\beta_n = 0,34$ .

### Výpočtový proud $I_p$ pro návrh NN rozvodů

Výpočtový proud NN na straně DTR se vypočte z rovnice

$$I_p = \frac{P_p \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{99,1 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} = 150,5 \text{ A} \quad (4.1-4)$$

### Instalovaný výkon DTS (neboli instalovaný výkon DTR) se stanoví ze vztahu

$$S_V = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos \varphi} = \frac{99,1}{0,7 \cdot 0,95} = 149 \text{ kVA} \quad (4.1-5)$$

kde  $P_p$  ... je výpočtový výkon odebíraný ze stanice,

$\cos \varphi$  ... je účinník výkonu jdoucího transformátorem

$\gamma$  ... je koeficient využití transformátoru; volí se s ohledem na budoucí rozšiřování a možné výpadky v rozmezí 0,5 až 0,8.

V tab. 1 jsou uvedeny standardizované řady transformátorů a jejich sekundární jmenovité proudy.

$S_n$	$I_{2\max}$
[kVA]	[A]
50	72
100	144
160	230
250	360
400	577

**Tab. 3** Standardní řada DTR VN/NN a jejich sekundární jmenovité proudy

Skutečný součinitel využití transformátorů se vypočte podle vztahu

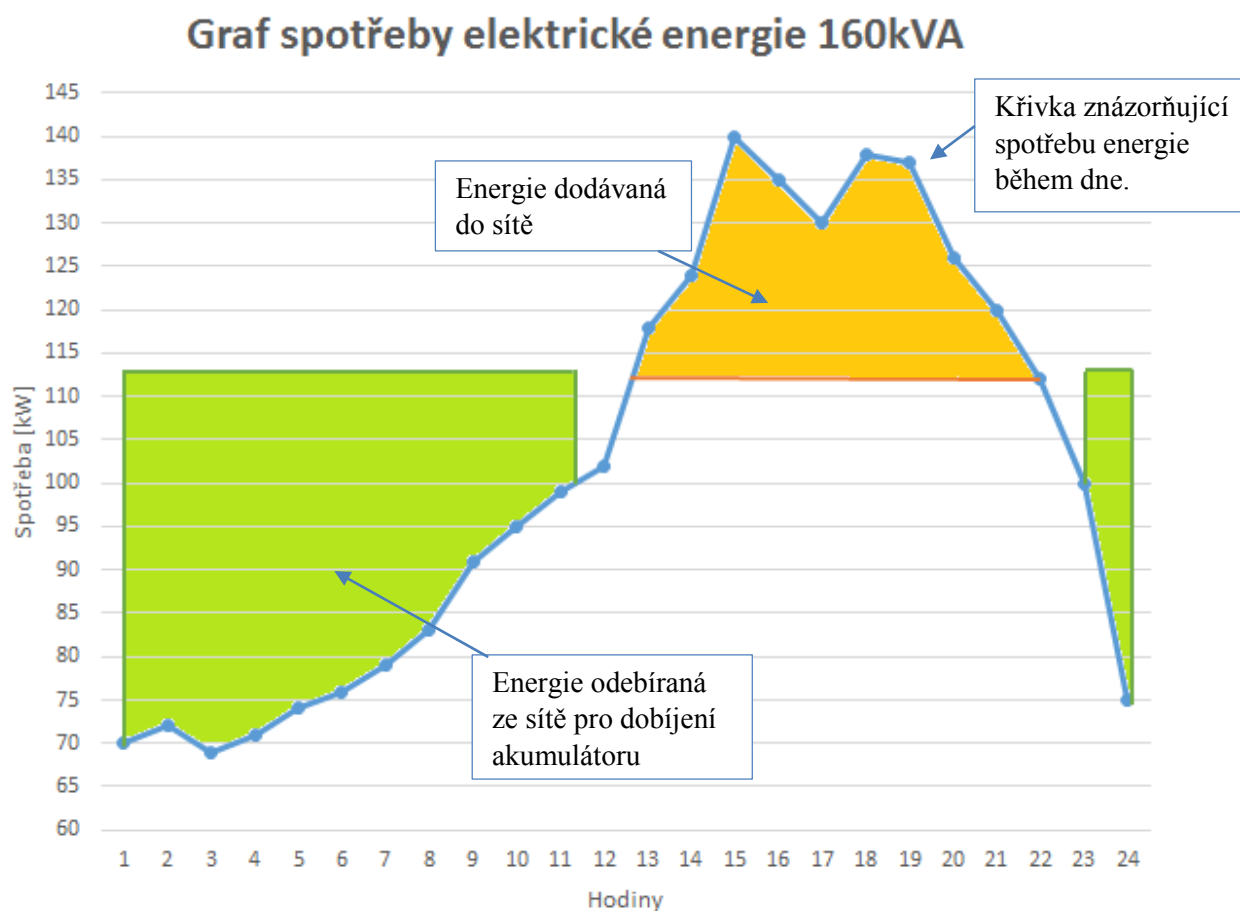
$$\gamma_s = \frac{P_p}{n \cdot S_n \cdot \cos \varphi} = \frac{99,1}{1 \cdot 160 \cdot 0,95} = 0,65 \quad (4.1-6)$$

Tabulka hodnot DZD pro DTR 160kVA

Hodiny	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Spotřeba [kW]	70	72	69	71	74	76	79	83	91	95	99	102
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	118	124	140	135	130	138	137	126	120	112	100	85

Tab. 4 Tabulka hodnot DZD

#### 4.1.3. Graf DDZ pro obec Hrádek



Graf 4.1 DDZ pro transformátor 160kVA v obci Hrádek



#### 4.1.4. Výpočet kapacity baterie:

Aby bylo možné stanovit potřebnou kapacitu akumulátoru, je potřebné vypočítat velikost energie, která je v grafu 4.1 znázorněná žlutě. Tutu energii musí být schopná baterie do sebe naakumulovat, aby bylo možné ji v případě potřeby zpátky dodat do sítě. Tato plocha byla vypočítaná pomocí programu Excel a její hodnota činí  $E_z=160\text{kWh}$ .

#### Kapacitu baterie vypočítáme

$$C_B = \frac{E_z \cdot k}{U_b \cdot DOD_{\max} \cdot T_{cf} \cdot \eta_B} = \frac{160000 \cdot 1,3}{850 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,8} = 382,3\text{Ah} \quad (4.1-7)$$

$U_b$ .....celkové napětí v DC obvodu

$k$ .....koeficient respektující stárnutí – 1,3

$DOD_{\max}$ .....hloubka vybití baterie – 0,8

$T_{cf}$ .....teplotní korekční faktor

$\eta_B$ .....účinnost baterií

#### Volba baterie

Jelikož DDZ se den od dne, jak i v ročních obdobích liší, je zapotřebí počítat s rezervní kapacitou akumulátoru. Kapacita akumulátoru proto byla stanovena na 400Ah.

Na základě uvedeného rozboru vlastností jednotlivých baterií v kapitole 3 bylo rozhodnuto, že pro navrhovanou akumulační jednotku budou použity baterie typu LifePo4. Důvodem jsou relativně malé rozměry, vysoká kapacita, veliký počet nabíjecích cyklů a dlouhá životnost.

Akumulátor byl zvolený typu LifePo4 s kapacitou 400Ah s jmenovitým napětím 3,2V. Podrobnější parametry viz příloha. U těchto akumulátorů je:

Minimální vybíjecí napětí = 2,8V.

Pracovní napětí = 3,0V až 3,3V

Maximální nabíjecí napětí = 3,6V

Limitní napětí: 2,5 – 4,2V

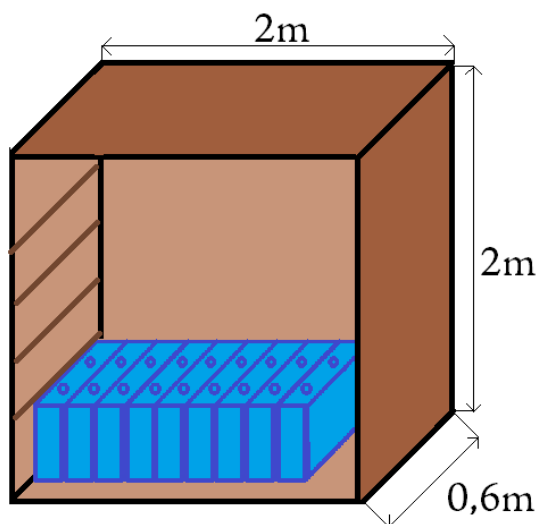
Doba nabíjení baterií byla vypočítaná pomocí programu nabíjení 1.1. Při nabíjecím proudu 50A byla stanovena na devět hodin a třicet pět minut. Avšak aby byl dodržen rovnoměrný odběr energie ze sítě, dobíjecí proud akumulátoru se bude od šesté hodiny ranní snižovat dle zatížení sítě. Tím bude prodloužená doba nabíjení o dvě hodiny na celkových jedenáct hodin.



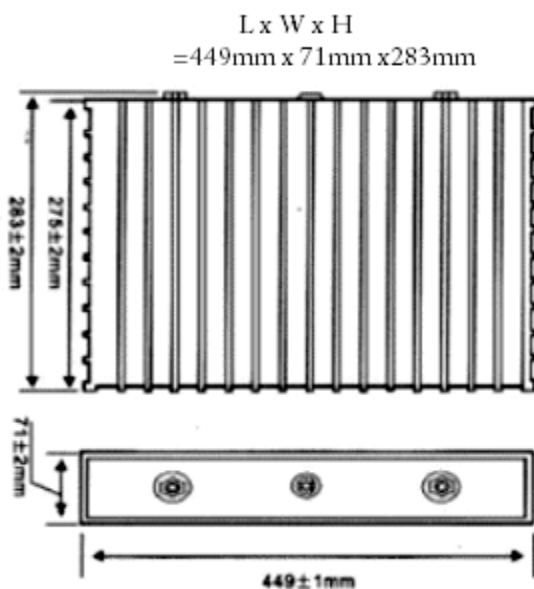
**Obr. 4.2** LifePo4 baterie 400Ah

### Výpočet objemu baterii v kontejneru:

Pro možnost ověření, jestli se 265 baterii vejde do dvou boxu umístěných v kontejneru, je potřebné zjistit rozměry jedné baterie. Tyto rozměry jsou uvedeny na obr. 4.4. Baterie budou do boxu řazeny v kolmé poloze a budou ukládaný nad sebe viz obr. 4.3. Do jednoho boxu se vejde 27 vedle sebe řazených baterii a je možné vytvořit sedm nad sebou umístěných řad. S toho vyplývá, že do jednoho boxu je možné uložit celkem 189 baterií.

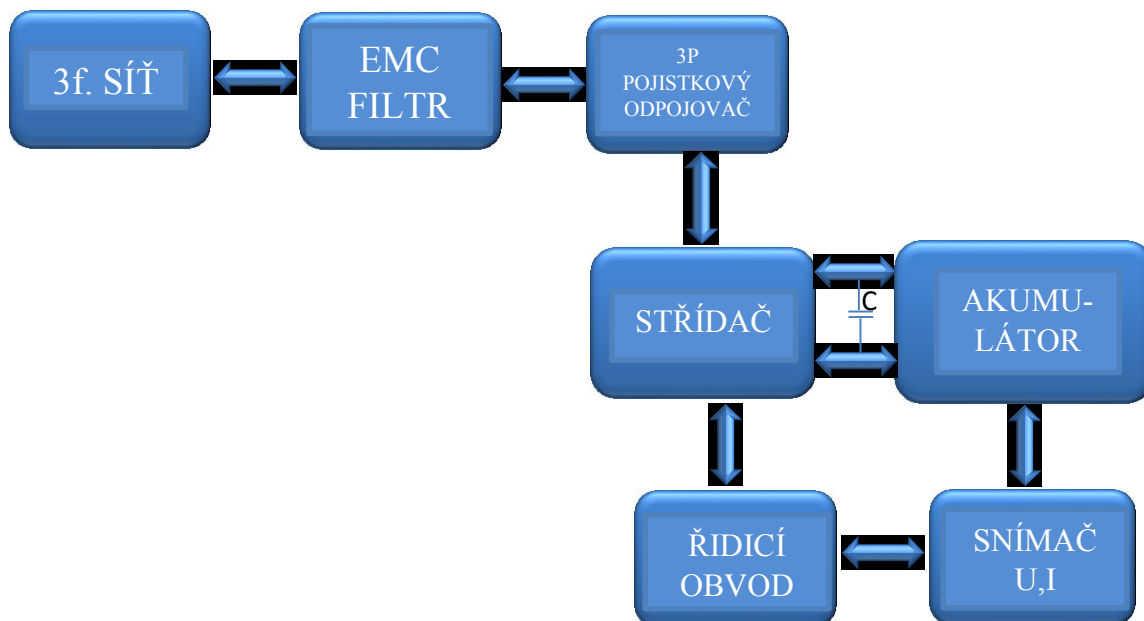


*Obr. 4.3 Box pro akumulátory a jejich uložení*



*Obr. 4.4 Rozměry baterie LifePo4 400Ah*

## 4.2. Blokové schéma akumulční jednotky



Obr. 4.5 Blokové schéma akumulční jednotky

## 4.3. Výpočet parametrů sítě

### Tři fázová síť

Akumulační jednotka bude zařazena za distribuční transformátor 160kVA o napětí 3x230V/400 a jmenovitém proudu 230A a  $u_k\% = 4\%$ . Obsahuje měnič o jmenovitém výkonu 100kW. Maximální odebíraný proud  $I_{n,max}$  je 150A.

### Výpočet náhradních parametrů sítě.

Výpočet provedeme pro nejhorší případ, tj. pro napájení bez přispění střídače.

$$U_k = \frac{U_{2N} \cdot u_k\%}{160} = \frac{230 \cdot 4}{160} = 5,75V \quad (4.3.1)$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_{2N}} = \frac{5,75}{230} = 0,025\Omega \quad (4.3.2)$$

V praxi je obvykle poměr  $\frac{R}{X_L} = 0,1 \cong 0,2$  odporovou složku zanedbáváme.

Volíme  $R = 0,1 \cdot X_L \rightarrow X_L = 0,025\Omega$

### Náhradní indukčnost sítě:

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,025}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,079mH \quad (4.3.3)$$

**Úbytky napětí v síťovém přívodu:**

$$\Delta U_{R(Siř)} = R \cdot I_{Siř} = 0,0025 \cdot 150 = 0,375V \quad (4.3.4)$$

$$\Delta U_{XL(Siř)} = X_L \cdot I_{Siř} = 0,025 \cdot 150 = 3,75V \quad (4.3.5)$$

**Ideální napětí sítě:**

$$U_1 = \sqrt{(U_{Siř} + \Delta u_{R(Siř)})^2 + \Delta u_{XL(Siř)}^2} = \sqrt{(230 + 0,375)^2 + 3,75^2} = 230,4V \quad (4.3.6)$$

Náhradní parametry střídače.

S ohledem na zvlnění proudu volíme indukčnost filtrační tlumivky  $L_f = 0,5mH$ .

**Reaktance filtrační cívky:**

$$X_{Lf} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_f = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,0005 = 0,157\Omega \quad (4.3.7)$$

$$\Delta U_{XLf} = X_{Lf} \cdot I_{STŘ} = 0,157 \cdot 150 = 23,5V \quad (4.3.8)$$

Činný odpor tlumivky zanedbáme.

**Maximální napětí 1. harmonické střídače:**

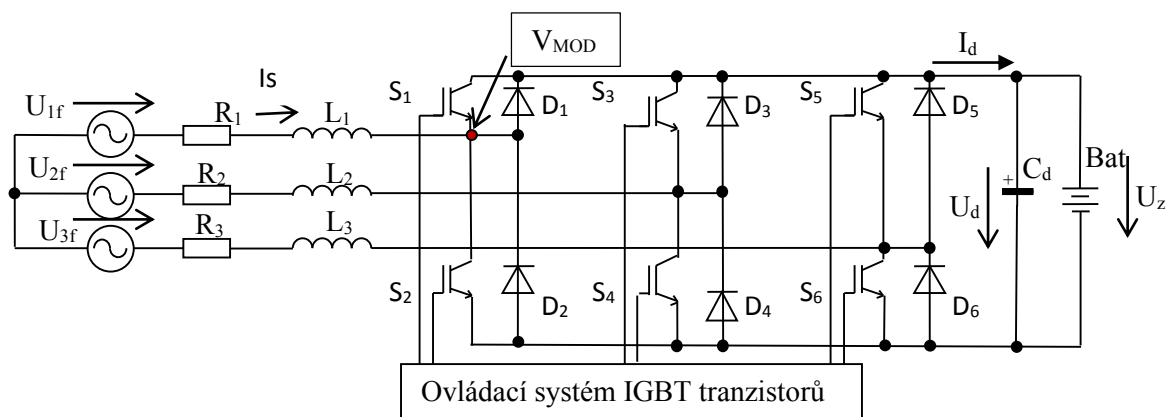
$$U_{STŘ(1)} = \sqrt{(U_{Siř} + \Delta U_{XLf})^2 + \Delta U_{XLf}^2} = \sqrt{230^2 + 37^2} = 231,2V \quad (4.3.9)$$

**Fázový posuv napětí střídače:**

$$\delta_{STŘ(1)} = \arccos \frac{U_{Siř}}{U_{STŘ(1)}} = \arccos \frac{230}{232,95} = 5^\circ 50'' \quad (4.3.10)$$

## 4.4. Výkonová část měniče

### 4.4.1. Elektrické schéma měniče



Obr. 4.6. Schéma tří fázového pulzního usměrňovače s vlastní komutací

### 4.4.2. Popis funkce pulzního usměrňovače

Měnič, který má stejnosměrnou a střídavou stranu může pracovat ve dvou režimech: usměrňovačovém a střídačovém. Tento měnič umožňuje pracovat s oběma toky energie, proto je zde možnost rekuperace energie.

$P > 0 \rightarrow I_d > 0$  ....střídačový chod

$P < 0 \rightarrow I_d < 0$  ....usměrňovačový chod

Tyto měniče musí být vybaveny řiditelnými výkonovými součástkami a zpětnými diodami. Zapojení součástek ve střídači je totožné s pulzním usměrňovačem. Proto je možné zapojení na obr. 4.6 použít i jako pulzní usměrňovač k nabíjení baterie. Spínání polovodičových součástek je synchronizováno s napájecím napětím usměrňovače. Jejich velikou výhodou je, že odebírají ze sítě takřka harmonický proud a jejich účinník je blízky jedné. Pulzní usměrňovač udržuje stejnosměrné napětí v meziobvodu na požadované hodnotě. Toto napětí musí být vyšší min. o 12% oproti max. amplitudě vstupního střídavého napětí. Pro řízení spínání výkonových součástek je využívána metoda pulsně šířkové modulace (PWM).

Pulzní usměrňovače se dělí do dvou základních skupin:

- proudový pulzní usměrňovač
- napěťový pulzní usměrňovač.

Tato práce se zabývá pouze napěťovým pulzním usměrňovačem

Činnost pulzního usměrňovače je založena na dvou opakujících se taktech:

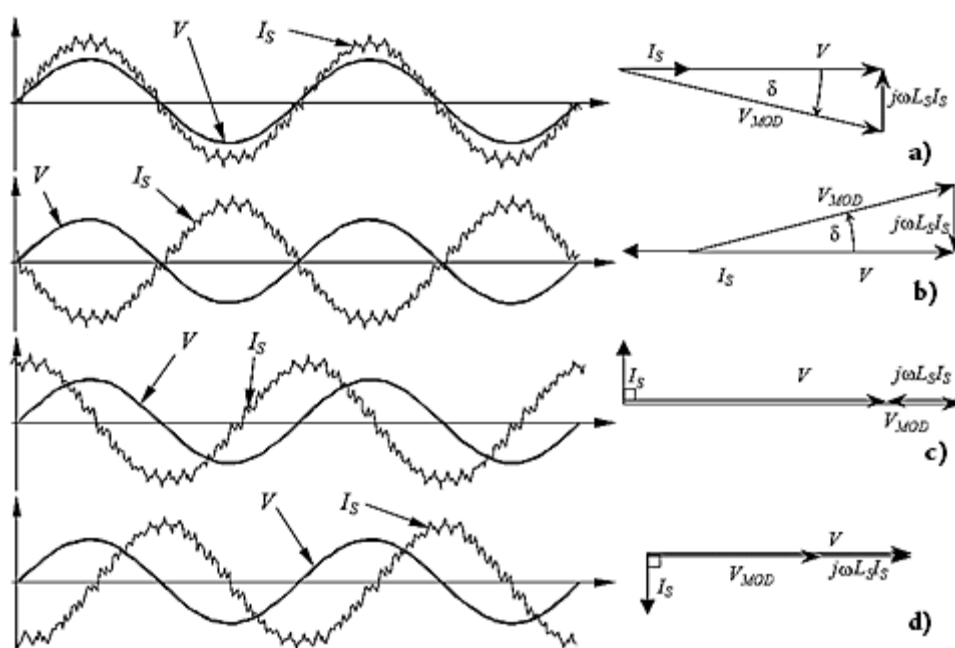
- nabíjení indukčnosti
- vybíjení indukčnosti

K nabíjení indukčnosti dochází při sepnutí spínače S3 a S5 a proud se uzavře skrze diodu D1. V cívkách L2,L3 dochází k akumulaci energie.

Při vybíjení indukčnosti dochází k „přelití“ energie nahromaděné v tlumivkách skrze diody a tím dochází k zvýšení napětí na kondenzátoru.

Střední hodnota usměrněného napětí na výstupu  $U_d$  odpovídá diodovému usměrňovači. Spínáním tranzistorů pomocí PWM tuto hodnotu můžeme pouze navyšovat. V praxi se používá navyšení o 10 – 20% nad usměrněnou hodnotu.

V této kapitole byly použity tyto informační zdroje:[1], [4]



**Obr 4.7.** *Průběhy vstupního napětí a proudu*

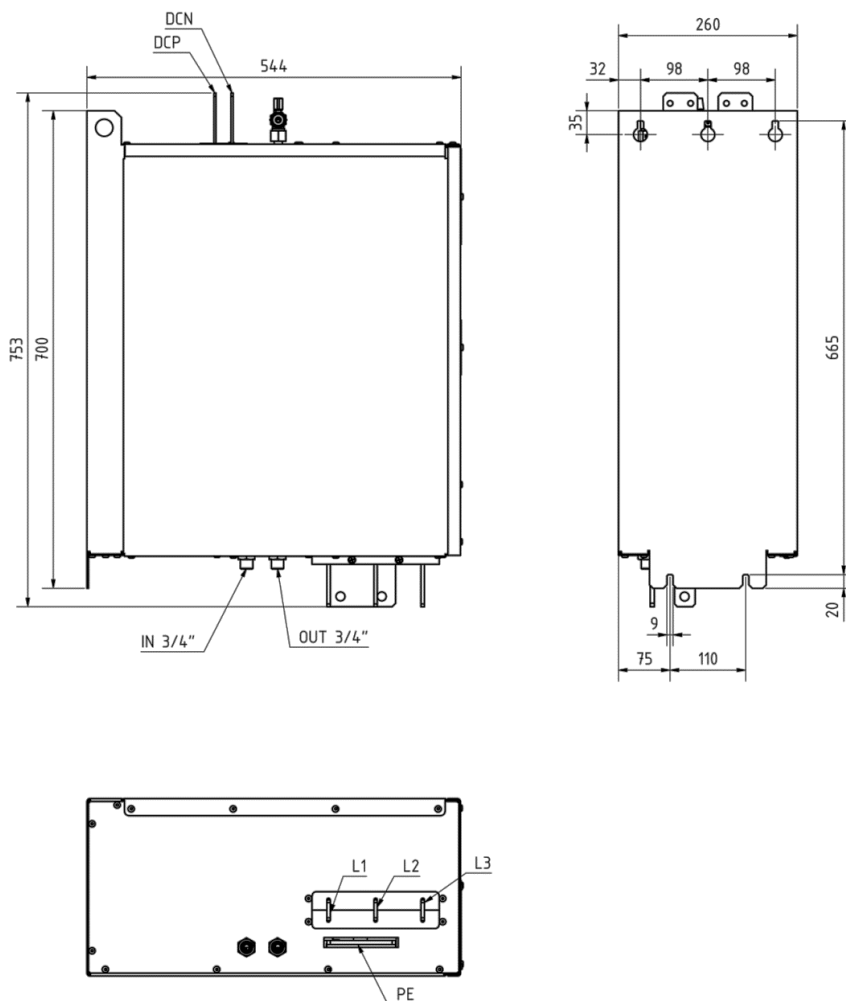
- a) Usměrnovačový charakter a jednotkový účinník
- b) Střídačový charakter a jednotkový účinník
- c) Kapacitní charakter a nulový účinník
- d) Induktivní charakter a nulový účinník

#### 4.4.3. Technické parametry měniče

Název parametru	Hodnota parametru	Jednotka parametru
<b>Jmenovitý výkon měniče</b>	100	kW
<b>Jmenovité vstupní napětí AC</b>	3x400	V
<b>Jmenovitý výstupní proud AC</b>	147	A
<b>Rozsah výstupního napětí DC</b>	720 - 950	V
<b>Maximální vybíjecí proud DC</b>	118	A
<b>Jmenovité nabíjecí napětí DC</b>	850	V
<b>Jmenovitý nabíjecí proud DC</b>	50	A
<b>Napájení elektronických obvodů DC</b>	±24	V
<b>Metoda chlazení</b>	Kapalinové chlazení s integrovaným hliníkovým chladičem	
<b>Stupeň krytí</b>	IP 00	
<b>Maximální dovolená vstupní teplota chladicí kapaliny</b>	40	°C
<b>Minimální průtok kapaliny chladicím systémem</b>	12	l/min
<b>Účinnost měniče <math>\cos\varphi</math></b>	0,98	

*Tab. 5: Parametry měniče*

#### 4.4.4. Popis konstrukčního provedení



**Obr. 4.8.** Rozměry měniče

Ze spodu měniče se nacházejí vstupní kontakty pro připojení třífázové střídavé sítě, které jsou označeny L1, L2, L3, PE. Nacházejí se zde i vstupní a výstupní vývody pro připojení chladicího média o rozměrech  $\frac{3}{4}$  palce. Z horní strany jsou umístěny výstupní stejnosměrné svorky DCP (+), DCN (-) a svorkovnice pro připojení řídicí elektroniky měniče.

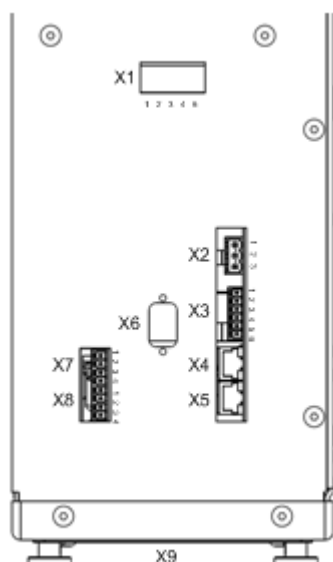
#### 4.4.5. Popis svorkovnice měniče

V této části se nachází popis svorkovnic výkonového měniče, které slouží pro napájení řídicích obvodů, měření obvodů a komunikaci s nadřazeným systémem.

##### **Svorkovnice X1 – napájecí napětí**

- X1:1 – 24V DC (+)
- X1:2 – 24V DC (+) – vnitřně propojena s X1:1
- X1:3 – nezapojeno
- X1:4 – GND – spojeno s kostrou měniče
- X1:5 – GND – vnitřně propojena s X1:4





**Svorkovnice X2** – reléový kontakt, který vysílá informace o systému

X2:1 – NC

X2:2 – COM

X2:3 – NO

**Svorkovnice X3** – Vstup a výstup synchronizace

X3:1 – GND1

X3:2 – SynIN\_H

X3:3 – SynIN\_L

X3:4 – SynOUT\_L

X3:5 – SynOUT\_H

X3:6 – GND

**Obr. 4.9.** Rozložení svorkovnic na horní straně měniče

Svorkovnice X3 slouží k synchronizaci více měničů. Synchronizované měniče je zapotřebí propojit do kruhu. Nadřazený systém vyhodnotí, který z měničů je hlavní a podle něj budou synchronizováni ostatní.

**Svorkovnice X4, X5** – konektory RJ45:

Tato svorkovnice je vybavená konektorem RJ45, slouží pro komunikaci mezi jednotlivými měniči a nadřazeným systémem. Pro komunikaci lze použít kabel UTP s konektory RJ45. Jednotlivé měniče jsou mezi sebou propojeny přímo.

**Svorkovnice X6** – profibus

Je zde umístěn konektor cannon-9, který bude sloužit pro připojení konektoru Profibus

**Svorkovnice X7,X8** – analogové výstupy

X7:1 – GNDA

X7:2 – Výstup 1

X7:3 – GNDA

X7:4 – Výstup 2

X8:1 – GNDA

X8:2 – Výstup 3

X8:3 – GNDA

X8:4 – Výstup 4

Napětí analogových vstupů je  $\pm 10V$ , a proud o maximální hodnotě  $I_{OUT} = 5mA$ .

**Svorkovnice X9** – měření napětí

X9:1 - L1+

X9:2 - L1-

X9:3 - Nezapojeno

X9:4 - Nezapojeno

X9:5 - L2+

X9:6 - L2-

X9:7 - Nezapojeno

X9:8 - Nezapojeno

X9:9 - L3+

X9:10 - L4-

#### 4.5. Dimenzování jištění výkonové části měniče:

Dimenzování výkonové části střídače je poněkud obtížnější, protože je potřebné zajistit bezpečnost zařízení i jeho hospodárnost. Aby byla zajištěná bezpečnost daného zařízení, je potřebné správně dimenzovat přívodní vedení, jištění, teplotní stabilizaci a všechny další části zařízení. Jedná se především o to, aby se zařízení nadměrně nepřehřívalo, jelikož pak dochází k ztrátě životnosti nebo k destrukci. Naproti tomu je třeba vzít v úvahu také hospodárnost. Při předimenzování zařízení jsou použity dražší a robustnější prvky, což vede ke zvýšení nákladů pro konstrukci zařízení. Nesmí se také zapomenout na bezpečnost, která je vždy na prvním místě.

Měnič je dimenzován na napětí akumulátoru  $U_n = 850\text{V}$  a maximální vybíjecí proud  $I_{n,\max} = 118\text{A}$ . Z těchto parametrů vypočteme výstupní výkon.

$$P_{\text{OUT}} = U_D \cdot I_D = 850 \cdot 118 = 100\text{kW} \quad (4.4-1)$$

##### 4.5.1. Volba jištění měniče ze stejnosměrné strany

Dle maximálního vybíjecího proudu 118A, kterým se baterie vybíjí, byl zvolen pro DC stranu stejnosměrný jistící prvek. Vybraná byla pojistka firmy OEZ typu P50V16S 125A aR. Jmenovité napětí této pojistky je 1100V DC, disponuje charakteristikou aR, což znamená, že je určena pouze pro jištění polovodičových prvků před zkratem. Tato pojistka je vybavena dálkovou signalizací stavu pojistky. [23]

#### Volba odpojovače pro baterie:

Pro možnost odpojení bateriového setu od měniče byl použit stejnosměrný odpínač S800PV-M. Slouží k odpojení stejnosměrné části s hodnotami jmenovitého proudu do 125A, dále je možno ho používat do ss napětí 800V a provozovat při teplotách okolí do 60°C. Podrobnější technické parametry lze nalézt v katalogovém listu [24]. Mezi jeho výhody patří:

- bezpečné spínání pod zátěží
- bezpečné spínání ohmických a induktivních zátěží
- dálkové vypnutí podpětíovou spouští
- signalizace pomocným kontaktem



Obr. 4.10 Odpínač 2 pólový S800PV-M

### Výpočet úbytku napětí ze stejnosměrné strany

U stejnosměrného napětí se uvažuje, že délka vedení stejnosměrného napětí je dvojnásobná oproti střídavému napětí. Úbytek napětí byl vypočítán pro délku DC vedení 15m.

$$\Delta u = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l \cdot P}{S \cdot U_{DC}} = \frac{\frac{1}{55} \cdot 2 \cdot 15 \cdot 100000}{45 \cdot 850} = 1,42V \quad (4.4-2)$$

l – délka vedení byla zvolena 15m

$\rho$  – rezistivita mědi – 0,018

S – průřez vodiče – 45mm<sup>2</sup>

Pro propojení bateriového setu s měničem byl použit dvoužilový silový kabel od společnosti LAPPGROUD s průřezem 45 mm<sup>2</sup>. [20]

### 4.5.2. Volba jištění měniče ze střídavé strany

Zdrojem měniče je napájecí síť 3x 230 V/ 400 V, 50 Hz. Vstupní proud, který prochází součástkami při nabíjení tlumivek, vypočteme ze vstupního třífázového výkonu a napájecího napětí.

$$P_{in}=P_{out}=\sqrt{3} \cdot U_S \cdot I_S \cdot \cos(\varphi) \rightarrow I_S = \frac{P_{OUT}}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos\varphi} = \frac{100000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,98} = 147,3A \quad (4.4-3)$$

Výpočtem bylo zjištěno, že maximální hodnota proudu na vstupní střídavé straně měniče při rekuperaci (dodávání energie do sítě) bude 147,3A.

### Stykač

K tomu, aby byla možnost měnič připojit nebo odpojit od sítě, bylo zapotřebí použít stykač. Byl použit typ 3RT1056-6AP36, který integrovaný omezovač přepětí. Je možné ho ovládat DC nebo AC napětím. Jmenovitý pracovní proud tohoto stykače je 185A.

### Jistič a proudový chránič pro měnič

Pro jištění měniče byl použit kompaktní tři pólový jistič BD250SE305 s nadproudovým spouštěčem SE-BD-0250-DTV3. Hlavní výhoda spočívá v promyšleném stavebnicovém příslušenství. Díky tomu je možné snadno vyměnit nadproudové spouště a další příslušenství. Parametry jsou uvedeny v datovém listu [22].



**Obr. 4.11** Kompaktní jistič BD250SE305 s nadproudovou ochranou

## Svodič bleskových proudů

Slouží k ochraně proti účinkům částečných bleskových proudů, indukovaného přepětí při úderu blesku a proti spínacímu přepětí. V tomto případě byl zvolen svodič typu FLP-B+C MAXI VS/3 od společnosti SALTEK. Obsahuje dálkovou signalizaci stavu. Doba odezvy  $t_a$  činí: 100ns. Technické parametry jsou v datovém listu [27].



*Obr. 4.12 Svodič bleskových proudů*

## Hlavní pojistkový odpínač

Jako hlavní jisticí prvek v akumulační jednotce slouží řadový pojistkový odpínač FH1, který je vybaven nožovou pojistkovou vložkou o jmenovitém proudu 200A. Tyto pojistky disponují charakteristikou Gg, která zajišťuje jištění vedení, kabelů a dalších zařízení před přetížením a zkratem.

### 4.6. Přípojková skříň

Přípojkový rozváděč byl použit pro koncové připojení akumulační jednotky na venkovní elektrorozvodnou síť a současně k jištění přívodního vedení k odběrnému místu. Obsahuje tři pojistkové spodky s ocelovou základnou SPF2 SS určené pro nožové pojistkové vložky. Pojistkové vložky byly zvoleny PHNA2 224A gG. Do přípojkového rozváděče bude kabel vstupovat ze spodní strany. Kabel, který povede od distribuční sítě, až k akumulační jednotce bude vedený zemí v hloubce 60 cm. Je nutné ho ochránit chráničkou KOPOFLEX 50. Dovolенý úbytek napětí na vedení je 5%. [21]

#### Výpočet dovoleného úbytku napětí na vedení

$$u_{Dov} = \frac{U_z}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = 11,55V \quad (4.4-4)$$

#### Výpočet úbytku napětí na střídavé straně

$$\Delta u = \frac{\rho \cdot l \cdot P}{\sqrt{3} \cdot S \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{\frac{1}{55} \cdot 25 \cdot 100000}{\sqrt{3} \cdot 95 \cdot 400 \cdot 0,98} = 0,7V \quad (4.4-5)$$

Z výpočtu vyplývá, že úbytek napětí na dvaceti pěti metrech vedení je vyhovující při zvolenému průřezu  $95\text{mm}^2$ . Proto byl použitý silový kabel  $4 \times 95\text{mm}^2$  od společnosti LAPPGROUD. Další vlastnosti a parametry jsou uvedeny v katalogu.



*Obr. 4.13 Znáznornění průřezu kabelu*

#### **4.7. Elektroměrová skříň**

Slouží jako měřicí zařízení pro měření spotřeby elektrické energie. Je osazena elektroměrem a sazbovým spínačem. V sestavě s přípojkovou skříní je rozvaděč složen ze dvou skříní pevně spojených. Dále v sobě obsahuje dva jističe. První jistič je BC160NT305-16-D o jmenovitém proudu 16A, pro jištění sazbového spínače. Druhý jistič E250SJ 3P 200A FC o jmenovitém proudu 200A se nachází před elektroměrem.

#### **4.8. Volba chladicího systému**

K chlazení měniče byl použit vodní chladicí systém. Výkonové součástky měniče jsou připevněny k integrovanému vodnímu chladiči, ze kterého je kapalina odváděna do výměníku od firmy RITTAL typu SK 3374.504. Disponuje užitečným chladícím výkonem 3000W. Průtočnost vzduchů zde činí  $700/730\text{m}^3/\text{h}$ . Podrobné parametry viz příloha. Jelikož výměník obsahuje v sobě již pojistku 4A, proto byl ještě zvolen jistič firmy OEZ typu LPE-6B-1. [29]



*Obr. 4.14 Nástěnný výměník tepla vzduch/voda*

#### 4.9. Klimatizační jednotka

Pro zajištění stálé teploty uvnitř kontejneru je nutno ke kontejneru připojit klimatizační jednotku. V tomto případě byla zvolena klimatizační jednotka od firmy STULZ typu WIND-AIR CHS 60. Průtok vzduchu je 2000m<sup>3</sup>/h. Napájena je ze sítě 3x230/400V a její maximální výkon při chlazení dosahuje 6,4kW. [28]

##### Vypočet jištění

$$I_{n, klim} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{6400}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = 10,87 A$$

Pro jištění byl zvolen jistič firmy OEZ typu LPE-13B-3.



*Obr. 4.15 Klimatizační jednotka WIND-AIR CHS 60*

#### 4.10. Spínaný napájecí zdroj

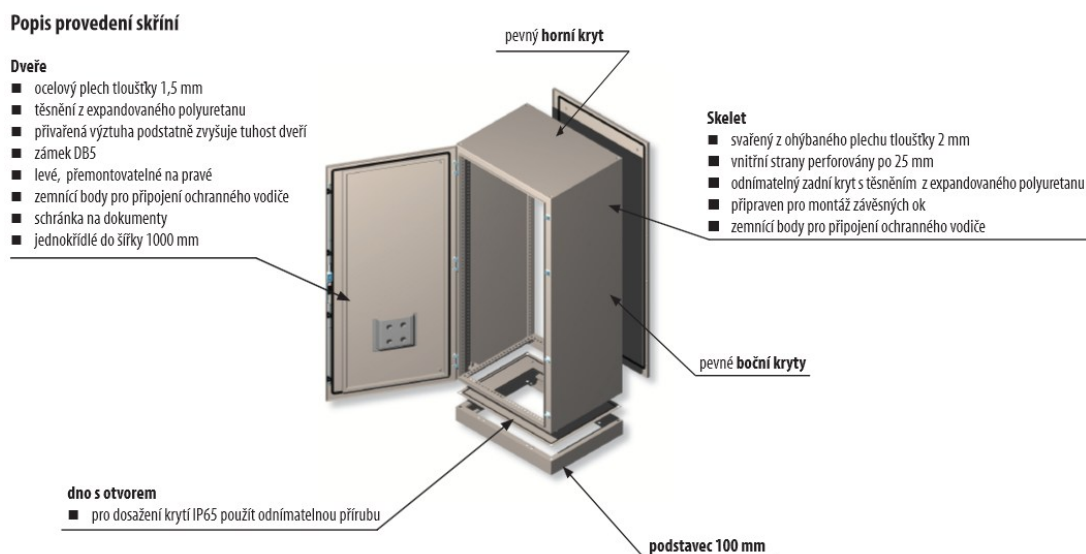
Bude se zde nacházet i napájecí spínaný zdroj Meanwell WDR-480-24. Tento zdroj je napájený ze dvou fází L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>. Výstupní napětí je 24V a je schopen dodat proud 20A. Tento zdroj bude sloužit pro napájení řídicí části měniče. Jištění je provedeno pomoci čtyř pojistek 4A/gS. [26]



*Obr. 4.15 Spínaný zdroj Meanwell*

## 4.11. Elektrický rozvaděč

Měnič se všemi jisticími prvky bude zapouzdřen do rozváděcí skříň KB65-180806-P od společnosti OEZ. Tato skříň bude mít rozměry V:2m, Š:0,8m, H:0,6m. Rozváděčová skříň má krytí IP65. Podrobnější informace o rozváděči jsou znázorněny na obr. 4.13.



**Obr. 4.16** Pohled na rozvaděčí skříň

## 4.12. EMC filtr

Jedná se o síťový odrušovací filtr zapojený do energetické napájecí sítě či, do napájecího vstupu přístroje. Používají se pro dokonalejší ochranu před působením vysokofrekvenčního rušení šířícího se po vedení. Nejčastěji jsou využívány filtry LC typu dolní propust, které bez potlačení propouštějí signály (proudy) s kmitočtem nižším než je určitý mezní kmitočet  $f_m$  a naopak tlumí složky, jejichž kmitočet je vyšší než tento mezní kmitočet.

V případě měniče, který bude napojený na distribuční síť byl použit tři fázový EMC filtr typu FN 351-180-36. Tento filtr je určený pro: [25]

- 3 fázové motory
- Střídače
- Zařízení průmyslové automatizace
- UPS
- Všeobecné účely třífázové filtrace



**Obr. 4.17** EMC filtr FN 351-180-36

#### 4.13. Snímače napětí a proudu

Snímače napětí a proudu jsou vybrány s ohledem na požadovaný rozsah měřených veličin. Pro měření proudu je potřeba snímače s rozsahem měření od 0 do 200A. Měřit musíme vstupní proud ve všech třech fázích pro realizaci výpočtu fázového posunu. Použitím snímače na každé fázi, lze hlídat izolační stav zařízení. Další dva snímače měří proud na stejnosměrné straně. Měření proudu na výstupu usměrňovače je důležité pro regulaci výstupního proudu, který musíme udržovat na požadované hodnotě a to v závislosti na nabíjecí charakteristice. Pro nabíjení baterie je důležitá informace o napětí v meziobvodu. Pro tento účel požadujeme čidlo pro měření napětí v rozsahu 0-1100V.

Požadavky pro měření elektrických veličin v tomto zařízení splňují snímače firmy LEM, LA 150-TP (proudové) a DVL 1500/SP1 (napěťové) a mohou být použity pro tuto aplikaci. Parametry snímačů jsou uvedeny v tab. 4.5 a tab. 4.6.

IpN	Nominální primární proud	150A
Vc	Napájecí napětí	±12V
Ta	Teplotní rozsah	-40^85°C
Vd	Izolační napětí mezi primárem a sekundárem	4,3kV

**Tab. 6.** Parametry proudového snímače LA 150-TP [30]

V <sub>PN</sub>	Nominální primární napětí	1500V
I <sub>sN</sub>	Nominální sekundární proud	50mA
V <sub>c</sub>	Napájecí napětí	+/- 24V
T <sub>a</sub>	Teplotní rozsah	-40^85°C
V <sub>d</sub>	Izolační napětí mezi primárem a sekundárem	12 kV

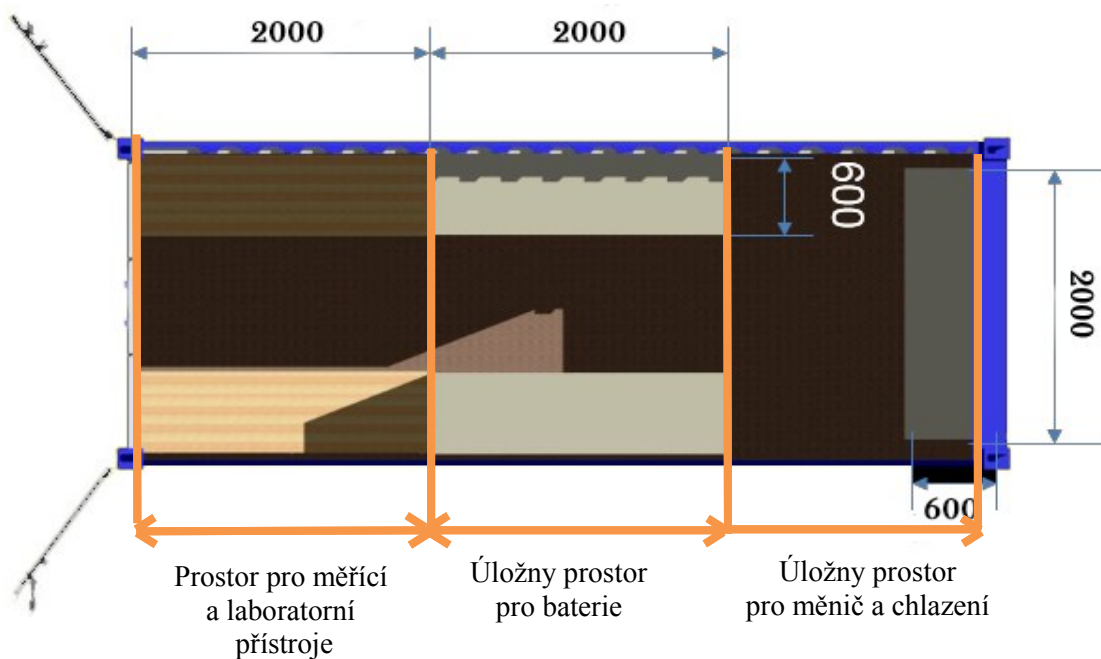
**Tab. 7.** Parametry napěťového snímače DVL 1500/SP1[31]



## 5. Projektová část

### 5.1. Akumulační kontejner

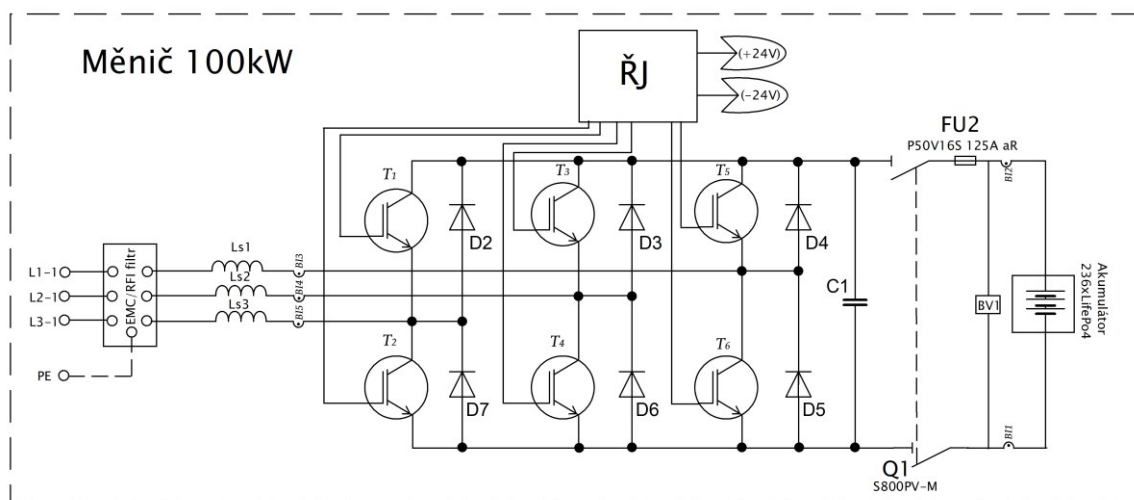
V tomto namodelovaném přenosném kontejneru se budou nacházet všechny přístroje, baterie a výkonové části akumulární jednotky. Kontejner je ve tvaru kvádra o délce - šest metrů, šířce - dva metry a výšce - dva metry. Uprostřed budou po obou stranách umístěny boxy pro baterie. V zadní části bude umístěna výkonová část. V přední části u dveří se budou nacházet přístroje pro měření.



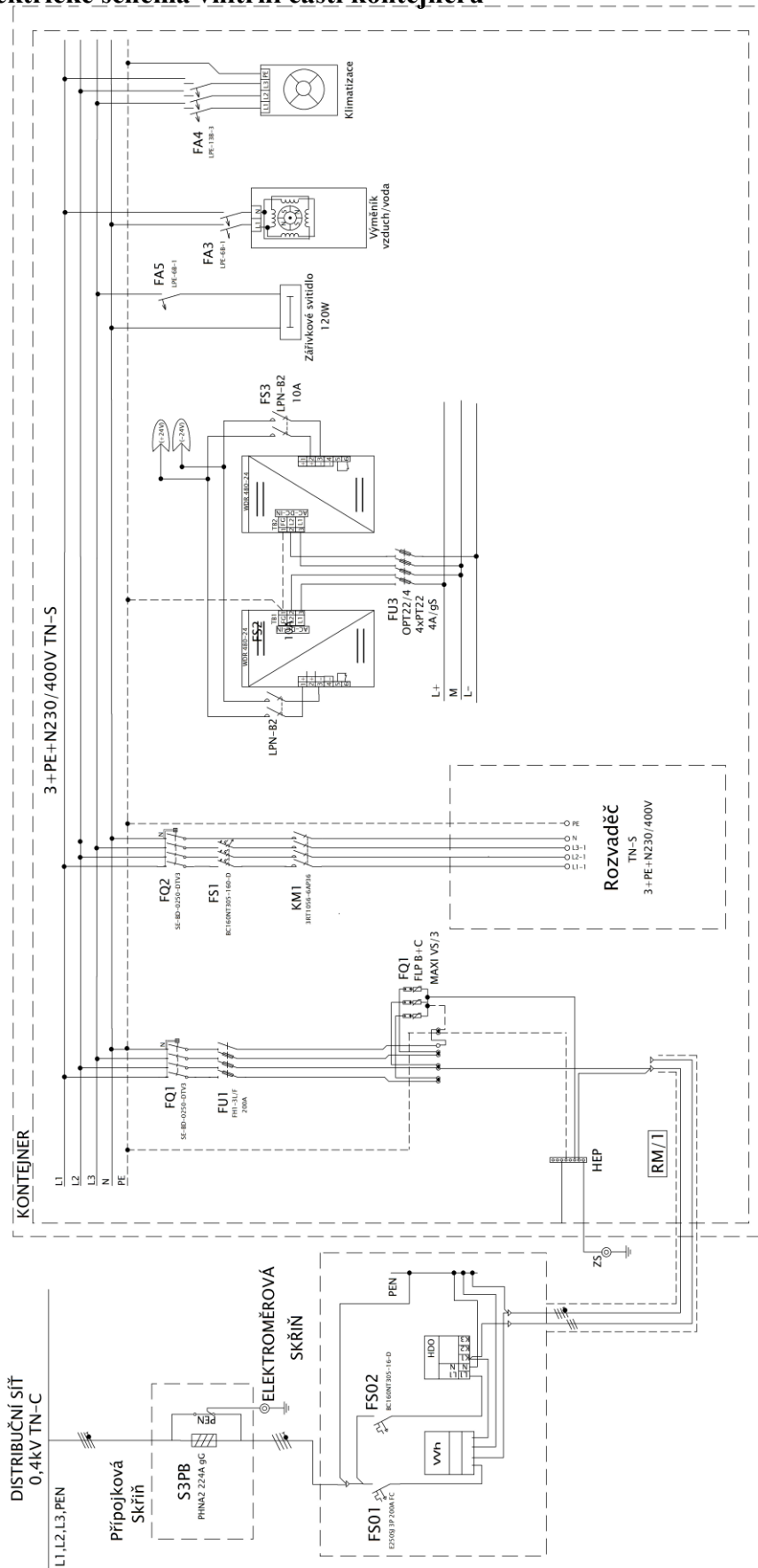
Obr 5.1 Rozmístění zařízení v akumulárním kontejneru

### 5.2. Elektrické schéma měniče

Na obr. 5.2 je nakresleno pomocí programu ProfiCad vnitřní elektrické schéma měniče s připojením k akumulátorovému boxu. Elektrické schéma vnitřního zapojení všech součástí umístěných v akumulární jednotce je znázorněno na obr. 5.3.



### 5.3. Elektrické schéma vnitřní části kontejneru



## 6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navržení vhodné obvodové struktury a projektové dokumentace akumulční jednotky. Měnič o výkonu sto kilowat, který je v ní obsažen je dimenzován na vstupní napětí 3x230/400V a maximální vstupní proud 150A. Stejnosměrný obvod je napájeny z baterií umístěných ve dvou boxech, po obou stranách kontejneru. Byly zde použity baterie typu LifePo4, které jsou sériově propojené. Jmenovité napětí v DC obvodu je 850V.

Bylo provedeno dimenzování vedení a všech jistících prvků, které tato akumulční jednotka obsahuje. Následně bylo zhotoveno elektrické schéma cele jednotky.

Tato akumulční jednotka bude sloužit pro dodávání energie do distribuční sítě během špiček v průběhu dne. Její použití však může být v širším rozsahu, např. jako záložní zdroj pro napájení domku, menšího hotelu nebo pro kompenzací proudu odebíraného z distribuční sítě při nabíjení elektromobilu.

Do budoucna je zde možnost další etapy vývoje této akumulční jednotky. Může být rozšířena o fotovoltaické panely případně UPS jednotku.

Při tvorbě této diplomové práce jsem si rozšířil své znalosti z oboru výkonové elektroniky, energetiky a projektování zařízení.

## Použitá literatura:

- [1] Vondrášek, František. *Výkonová elektronika – svazek 3*. Západočeská univerzita v Plzni, 1998, 252s. ISBN 80-7082-485-9
- [2] Hradílek, Zdeněk. *Elektroenergetika Distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava, 2008, 28s. ISBN 978-80-248-1696-8
- [3] Cenek, Miroslav a kol. *Akumulátory od principu k praxi*. FCC PUBLIC, 2003, 248s. ISBN 80-86534-03-0
- [4] Martiniak, Lubomír. *Pulzní usměrňovač pro nabíjení akumulátorů*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2011, 49s.
- [5] *JAK SE ELEKTRINA DISTRIBUUJE*, skupina ČEZ, 6s. [online], [cit. 12. 3. 2013]  
URL: < <http://www.cez.cz/edee/content/file/pece-a-podpora/cez-info/cez-info-18-0711-priloha-distribuce.pdf>>
- [6] Marconi. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení*. 2008, 61s. [online], [cit. 28. 4. 2013]  
URL: < <http://www.cezeta487.ic.cz/Documents/akumulatory.pdf> >
- [7] Mareš Jan, Libra Martin, Poulek Vladislav, *Akumulace elektrické energie*, 2011, 6s, [online], [cit. 4.4.2013], URL: < <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf>>
- [8] Baláč Jan, *Akumulace elektrické energie*, 2011, 1s , [online], [cit. 15.3.2013]  
URL: < <http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/akumulace.pdf>>
- [9] *Energy Storage Modules (ESM)*, ABB, 20s, [online], [cit. 15.3.2013]  
URL: < [http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/f09413974e2f041cc12579e3004fa562/\\$file/Energy\\_Storage\\_Modules\\_Brochure\\_Rev\\_E.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/f09413974e2f041cc12579e3004fa562/$file/Energy_Storage_Modules_Brochure_Rev_E.pdf) >
- [10] *Modulární akumulční systém využívající Lithium-ion baterie*, Siemens, 2s, [online], [cit. 15.3.2013]  
URL: < [https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/energy/sektor\\_energy/siestorage/Documents/Letak\\_Energy\\_Storage-A4.pdf](https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/energy/sektor_energy/siestorage/Documents/Letak_Energy_Storage-A4.pdf) >
- [11] *LiFePO4 akumulátory*, [online], [cit. 10. 3. 2013]  
URL: < <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/lifepo4-akumulatory> >
- [12] *Lithiové baterie - LiFePO4*, [online], [cit. 25. 2. 2013]  
URL: < <http://www.fg-forte.cz/cz/kategorie/241-lithiove-baterie--lifepo4.aspx>>
- [13] Vojáček Antonín, *Superkondenzátor - princip, vlastnosti, použití*, 2006, [online], [cit. 15.3.2013]  
URL: < <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006122601>>

- [14] Tyrbach, Jaromir, *Základní elektrárenské pojmy*, [online], [cit. 5. 2. 2013]  
URL: < [http://web.telecom.cz/tyrbach/Zakladni\\_elektr\\_pojmy.pdf](http://web.telecom.cz/tyrbach/Zakladni_elektr_pojmy.pdf)>
- [15] Vojáček Antonín, *Ultrakondenzátory – nahradí v budoucnu baterie ?* [online], [cit. 16. 2. 2013]  
URL: < <http://www.hw.cz/soucastky/analogove-systemy/napajeni/ultrakondenzatory-nahradi-v-budoucnu-baterie.html>>
- [16] *Smart Grid - chytré sítě*, [online], [cit. 3. 3. 2013]  
URL: < <http://www.solar-group.cz/chytre-site-smart-grid/>>
- [17] URL: < <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm> >
- [18] Roubal Jiří, *Akumulace elektrické energie, 2011, 38s*, [online], [cit. 2. 3. 2013]  
URL: < <http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/tee/tee-2011/prednasky/prednasky%202.%20den/2-5%20roubal%20jiri%20-%20akumulace%20elektricke%20energie.pdf>>
- [19] Hammerbauer Jiří, *Olověné akumulátory, 20s*, [online], [cit. 15.3.2013]  
URL: < <http://www.renerga.cz/content/file/AKUMUL%C3%81TORY%20TEORIE%20.PDF>>

## **Manuály a datové listy:**

- [20] Katalog silových vodičů a kabelů, <http://lappczech.lappgroup.com>
- [21] Katalog pojistkových vložky, < <http://www.oez.cz>> ,
- [22] Katalog kompaktní jističe BD250N, BD250S , < <http://www.oez.cz>> ,
- [23] Katalog jističe, potiskové spodky, nožové pojistky, stykače, < <http://www.oez.cz>> ,
- [24] Datový list stejnosměrný odpínač S800PV-M.pdf, < <http://www.abb.com>>
- [25] Datový list 3-phase filters FN 351.pdf, <<http://www.alliedelec.com>>
- [26] Datový list 480W Single Output Industrial DIN RAIL Power Supply.pdf – spínaný zdroj  
< <http://www.meanwell.com> >
- [27] Datový list FLP-B+C MAXI VS/3, < <http://www.saltek.eu>> ,
- [28] Telecom-LineWIND-AIR – klimatizační jednotka, < <http://mep.hr> > ,
- [29] Data list výměníku, < <http://www.rittal.com> > ,
- [30] LEM Current Transducer LA 150-TP.pdf – proudové čidla, <[lem.com](http://lem.com)> ,
- [31] LEM Voltage Transducer DVL 1500/SP1.pdf – napěťové čidla, <[lem.com](http://lem.com)> ,

## **Seznam příloh:**

A ..... Mapa ČR znázorňující rozložení instalovaného výkonu v ČR

B..... Technické parametry LifePo4 baterie 400Ah

